

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

«ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ»

**Η χρήση βιολογικών δεικτών για την αξιολόγηση της ποιότητας των
υδάτων των ποταμών Βρύχωνα και Ενιπέα**

Φλώρου Μαρία

Βόλος, 2015

«Η χρήση βιολογικών δεικτών για την αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων των ποταμών Βρύχωνα και Ενιπέα»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

- 1) Χρίστος Νεοφύτου, Καθηγητής – Ιχθυολογία-Υδροβιολογία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Επιβλέπων
- 2) Κωνσταντίνος Κορμάς, Καθηγητής – Οικολογία Υδρόβιων Μικροοργανισμών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Μέλος
- 3) Κωνσταντίνος Σκόρδας, Επίκουρος Καθηγητής – Περιβαλλοντική Γεωχημεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Μέλος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέπων της εργασίας αυτής, κύριο Χρίστο Νεοφύτου για την πολύτιμη βοήθειά και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου 1) Κων/νο Κορμά και 2) Κων/νο Σκόρδα για τις χρήσιμες συμβουλές τους.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω το διδάκτορα Χρήστο Ρούμπο. Επιστημονικό συνεργάτη του εργαστηρίου Ιχθυολογίας-Υδροβιολογίας για την αμέριστη βοήθεια και συμπαράστασή του κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών καθώς και για τη βοήθειά του σε όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την άπλετη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή σε όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2000/60 για τα νερά θέτει το πλαίσιο δράσης όλων των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για σωστή διαχείριση των υδάτινων πόρων τους, προκειμένου να επιτευχθεί «καλή» οικολογική ποιότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων τους μέχρι το έτος 2015 και να αποτραπεί η περαιτέρω υποβάθμισή τους, με στόχο να διασφαλισθεί η υγιής λειτουργία των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Προκειμένου να εκτιμηθεί η οικολογική ποιότητα των υδάτων των ποταμών Βρύχωνα και Ενιπέα, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες και εν συνεχεία χημικές και βιολογικές αναλύσεις σε τέσσερις θέσεις, επιλεγμένες με κύριο χαρακτηριστικό την υψομετρική τους διάφορα. Συγκεκριμένα, η συλλογή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε δυο εποχές (καλοκαίρι, φθινόπωρο) του έτους 2014.

Η εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή Ευρωπαϊκών και Ελληνικών βιοτικών δεικτών. Οι δείκτες διαφοροποιήθηκαν ακόμη και για τις ίδιες θέσεις δειγματοληψίας γεγονός που υποδεικνύει πως τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ελληνικών ποταμών συνηγορούν στην ανάπτυξη ενός μοντέλου εκτίμησης προσαρμοσμένο στις Ελληνικές συνθήκες.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα νερά 2000/60	2
1.2 Η Εφαρμογή της Οδηγίας – Πλαίσιο 2000/60 στην Ελλάδα	3
1.3 Εκτίμηση της Ποιότητας των Ποταμών με τη χρήση Βιοτικών Δεικτών	5
1.4 Τα βενθικά μακροασπόνδυλα ως δείκτες οικολογικής ποιότητας των επιφανειακών υδάτων – Χρησιμοποιούμενοι δείκτες στην Ευρώπη	9
1.5 Σκοπός	11
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	12
2.1 Περιοχή μελέτης	12
2.2 Μέθοδος δειγματοληψίας βενθικών μακροασπονδύλων	16
2.3 Μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων	18
2.4 Βιολογικοί Δείκτες βασισμένοι στα βενθικά μακροασπόνδυλα στην Ευρώπη.....	20
2.4.1. Ο βιοδείκτης Extended Trent Biotic Index (ETBI)	20
2.4.2. Ο βιοδείκτης Belgian Biotic Index (BBI)	22
2.4.3 Ο βιοδείκτης Biological Monitoring Working Party (BMWP)	25
2.4.4 Ο βιοδείκτης Average Score Per Taxon (ASPT)	27
2.4.5. Ο βιοδείκτης Iberian Biological Monitoring Working Party (IBMWP)	27
2.5 Βιολογικοί Δείκτες βασισμένοι στα βενθικά μακροασπόνδυλα στην Ελλάδα	29
2.5.1 Hellenic Evaluation Score (HES).....	29
2.5.2 Ο Ελληνικός Βιοτικός Δείκτης (ΕΒΔ).....	33
2.6 Στατιστική Ανάλυση	35
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	38
3.1 Αποτελέσματα δειγματοληψιών	38
3.2 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά	40
3.2.1 Βρύχωνας.....	40
3.2.2 Ενιπέας.....	41
3.3. Αφθονία βενθικών μακροασπονδύλων	43
3.3.1 Βρύχωνας.....	43
3.3.2 Ενιπέας.....	48
3.4. Υπολογισμός βιολογικών δεικτών και εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων	53
3.4.1 Βρύχωνας.....	53
3.4.2 Ενιπέας.....	54
3.5 Στατιστική ανάλυση.....	56
3.5.1 Βρύχωνας.....	56

3.5.2 Ενιπέας.....	62
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	69
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	76
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	77
6.1 Ελληνική βιβλιογραφία.....	77
6.2 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	77
ABSTRACT.....	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	84

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι ένας βασικός και αναγκαίος για την επιβίωση του ανθρώπινου πληθυσμού φυσικός πόρος (Αντωνόπουλος 2010). Αποτελεί ένα από τα πιο βασικά αγαθά για την ζωή μας, ενώ η διαχείριση του παίζει καθοριστικό ρόλο στην οικονομική και κοινωνική μας εξέλιξη (Zwart *et al.* 1995).

Τα τελευταία χρόνια, όμως η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού και οι αλλαγές στις χρήσεις γης έχουν επηρεάσει την ποιότητα των υδάτων. Η παγκόσμια μετάβαση από αδιατάρακτες περιοχές σε τοπία που κυριαρχούνται από τον άνθρωπο έχει έντονη επίδραση στα φυσικά χαρακτηριστικά των οικοσυστημάτων. Η ανθρώπινη δραστηριότητα επιδρά στην ποιότητα του νερού, στη δομή των ενδιαιτημάτων, στο υδρολογικό καθεστώς, και στις βιολογικές αλληλεπιδράσεις των υδάτινων οικοσυστημάτων (Gupta *et al.* 2014). Συνεπώς, προκύπτει ως επιτακτική ανάγκη η ορθολογική και κατά το δυνατόν αποτελεσματικότερη χρήση και διαχείριση αυτού του πολύτιμου αγαθού.

Για την καλύτερη διαχείριση των υδατικών αποθεμάτων, η ποιότητα του τρεχούμενου νερού θα πρέπει να αξιολογείται σε τακτά χρονικά διαστήματα με την χρήση τόσο φυσικών και χημικών όσο και βιολογικών παραμέτρων. Ωστόσο, μια τέτοια εμπεριστατωμένη μελέτη και αξιολόγηση της ποιότητας των υδάτων είναι δαπανηρή σε χρόνο και σε χρήμα, με αποτέλεσμα να μην είναι πάντα εφικτή. Η χρήση βιολογικών μεθόδων προσδιορισμού της ποιότητας των υδάτων, οι οποίες δεν υπολείπονται σε αξιοπιστία των φυσικών και χημικών μεθόδων, αποτελεί μια αποδεκτή εναλλακτική, που προκρίνεται από πολλούς μελετητές (Uyanik *et al.* 2005).

Τα βενθικά μακροασπόνδυλα αποτελούν καλούς δείκτες της οικολογικής κατάστασης των υδάτινων οικοσυστημάτων, ενώ οι διακυμάνσεις των πληθυσμών των

υδρόβιων εντόμων, που αποτελούν την πλειοψηφία των βενθικών μακροασπονδύλων στα υδάτινα οικοσυστήματα, μπορούν να δώσουν γρήγορα πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα του νερού (Chandler 1970).

1.1 Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα νερά 2000/60

Η Οδηγία 2000/60/EK συνδυάζει ποιοτικούς, οικολογικούς και ποσοτικούς στόχους για την προστασία των υδάτινων οικοσυστημάτων και την καλή κατάσταση όλων των υδατικών πόρων και θέτει ως κεντρική ιδέα την ολοκληρωμένη διαχειρισή τους στη γεωγραφική κλίμακα των Λεκανών Απορροής Ποταμών. Επιπλέον, επαναπροσδιορίζει την έννοια της Λεκάνης Απορροής, η οποία περιλαμβάνει τα εσωτερικά και επιφανειακά νερά (ποταμοί, λίμνες), τα υπόγεια και μεταβατικά (δέλτα, εκβολές ποταμών) ύδατα και τα παράκτια οικοσυστήματα. Για κάθε περιοχή Λεκάνης Απορροής Ποταμού, η Οδηγία καθορίζει, μια σειρά από απαραίτητες ενέργειες που θα πρέπει να υλοποιηθούν εντός καθορισμένων χρονικών προθεσμιών, ώστε ο βασικός στόχος της Οδηγίας, που είναι η αποτροπή της περαιτέρω υποβάθμισης όλων των υδάτων και η επίτευξη “καλής κατάστασης”, να επιτευχθεί μέχρι το 2015 (<http://www.ypeka.gr>).

Σύμφωνα με το άρθρο 1 της οδηγίας για την προστασία υδάτων (ΟΠΥ), ο σκοπός της παρούσας Οδηγίας, είναι η θέσπιση πλαισίου για την προστασία των εσωτερικών και επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και υπόγειων υδάτων, Το πλαίσιο αυτό πρέπει να:

- αποτρέπει την περαιτέρω επιδείνωση των υδάτινων οικοσυστημάτων, να προστατεύει και να βελτιώνει την κατάσταση τόσο των ίδιων όσο και των εξαρτωμένων από αυτά χερσαίων οικοσυστημάτων και υγροτόπων,
- προωθεί τη βιώσιμη χρήση του νερού βάση μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδατικών πόρων,

- προωθεί την ενίσχυση της προστασίας και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος,
- διασφαλίζει την προοδευτική μείωση της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων,
- συμβάλλει στο μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασία.

Η οδηγία υποχρεώνει όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Κοινότητας να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα ώστε να διασφαλίσουν την καλή ποιότητα του νερού προβαίνοντας (Άρθρο 5):

- στην ανάλυση των χαρακτηριστικών των λεκανών των ποταμών,
- στην επισκόπηση των ανθρωπογενών επιδράσεων και
- στην οικονομική ανάλυση της χρήσης ύδατος.

1.2 Η Εφαρμογή της Οδηγίας – Πλαίσιο 2000/60 στην Ελλάδα

Η θεσμική εναρμόνιση με την Οδηγία – Πλαίσιο 2000/60/EK πραγματοποιήθηκε με την έκδοση του Ν. 3199/2003 για την προστασία και διαχείριση των υδάτων με στόχο την εναρμόνιση της Κοινοτικής Οδηγίας με το ελληνικό δίκαιο. Σε μεγάλο βαθμό ο Ν. 3199/2003 αναφέρεται στη διοικητική οργάνωση του Εθνικού Φορέα Διαχείρισης με αναφορά στην Εθνική Επιτροπή Υδάτων, το Εθνικό Συμβούλιο Υδάτων, την Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων, στις Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών και το Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων. Οι αρμόδιοι φορείς καταρτίζουν σχέδια διαχείρισης και προγράμματα μέτρων και παρακολούθησης των υδάτων και υποχρεούνται να καταθέσουν το πρώτο σχέδιο διαχείρισης μέχρι το τέλος του έτους 2009.

Τα θεσμικά όργανα και οι υπεύθυνοι φορείς ασκούν τις εξής αρμοδιότητες (Άρθρο 4):

1. Καταρτίζουν τα εθνικά προγράμματα προστασίας και διαχείρισης του υδάτινου δυναμικού της χώρας και παρακολουθούν και συντονίζουν την εφαρμογή τους.
2. Καταρτίζουν την ετήσια έκθεση που προβλέπεται στην παρ. 3 του προηγούμενου άρθρου .
3. Συντονίζουν τις υπηρεσίες και τους κρατικούς φορείς και μετέχουν στα αρμόδια κοινοτικά όργανα για κάθε ζήτημα που αφορά στην προστασία και τη διαχείριση των υδάτων.
4. Εισηγούνται τους γενικούς κανόνες κοστολόγησης και τιμολόγησης των υδάτων και παρακολουθούν την τήρησή τους.
5. Εισηγούνται νομοθετικά και διοικητικά μέτρα για την προστασία και διαχείριση των υδάτων.
6. Παρακολουθούν σε εθνικό επίπεδο την ποιότητα και την ποσότητα των υδάτων σε συνεργασία με τις Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών και μεριμνούν για την ανάπτυξη και τη λειτουργία εθνικού δικτύου παρακολούθησης της ποιότητας και ποσότητας των υδάτων.
7. Διαχειρίζονται βάση υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων σε εθνικό επίπεδο και μεριμνούν για τη διαρκή της ενημέρωση.
8. Παρακολουθούν τη λειτουργία των Διευθύνσεων Υδάτων των Περιφερειών και παρέχουν οδηγίες για την άσκηση των αρμοδιοτήτων τους.
9. Για κάθε Λεκάνη Απορροής Ποταμού, η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων υποχρεούταν έως το τέλος του 2004:
 - να συντάξει πλήρη και αναλυτική έκθεση των χαρακτηριστικών της,
 - να διαπιστώσει τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των επιφανειακών και των Υπόγειων υδάτων και

- να προβεί στην οικονομική ανάλυση κάθε χρήσης ύδατος στη λεκάνη αυτή.
10. Καταρτίζει το Εθνικό Μητρώο προστατευόμενων περιοχών έως 22.12.2004. Με το προεδρικό διάταγμα που προβλέπεται στην παρ. 1 του άρθρου 15 καθορίζεται αναλυτικά το περιεχόμενο του Μητρώου.
 11. Φροντίζει, το αργότερο έως το 2015, για την προστασία, αναβάθμιση και αποκατάσταση όλων των συστημάτων των επιφανειακών υδάτων, καθώς και των τεχνητών και ιδιαιτέρως τροποποιημένων υδατικών συστημάτων, με σκοπό την επίτευξη καλής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων και καλού οικολογικού δυναμικού και καλής χημικής κατάστασης για τα επιφανειακά ύδατα των τεχνητών και ιδιαιτέρως τροποποιημένων υδατικών συστημάτων, εκτός αν για αυτά, τα παραπάνω είναι δυσανάλογα δαπανηρά ή αν λόγω ανωτέρας βίας ή φυσικών αιτιών ή ατυχήματος κάτι τέτοιο δεν καθίσταται εφικτό.

1.3 Εκτίμηση της Ποιότητας των Ποταμών με τη χρήση Βιοτικών Δεικτών

Για πολλά χρόνια η εκτίμηση ποιότητας των ποταμών ήταν ταυτισμένη με τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του νερού και η συστηματική παρακολούθησή τους περιλάμβανε τη μελέτη αυτών των χαρακτηριστικών. Από το 1983 όμως κι έπειτα, πολλοί ερευνητές άρχισαν να αντιλαμβάνονται ότι μόνο με τη χρήση χημικών μεθόδων δεν είναι δυνατό να υπάρξει μία ολοκληρωμένη εκτίμηση της ποιότητας των υδάτινων σωμάτων σε βάθος χρόνου, δεδομένου ότι η εφαρμοζόμενη μέθοδος έδινε πληροφόρηση για την κατάσταση των νερών κατά τη στιγμή της δειγματοληψίας.

Έτσι άρχισαν να εισάγονται στον συγκεκριμένο ερευνητικό πεδίο και οι βιολογικές μέθοδοι οι οποίες σύμφωνα με αρκετούς επιστήμονες, παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των χημικών (Armitage *et al.* 1983, Cummins *et al.* 1984,

Wright *et al.* 1984, Hellawell 1986, Moss *et al.* 1987, Ormerod & Edwards 1987, Thorp & Covich 1991).

Συγκεκριμένα, επειδή οι οργανισμοί διαβιούν και υφίστανται τις περιβαλλοντικές πιέσεις για μεγάλα χρονικά διαστήματα, μας δίνουν μακροχρόνιες πληροφορίες για την κατάσταση ενός βιότοπου, ενώ οι χημικές πληροφορίες είναι στιγμιαίες κι έτσι απαιτούνται επαναλαμβανόμενες μετρήσεις για ακριβή περιβαλλοντική εκτίμηση (DePauw & Vanhooren 1983).

Οι βιολογικές μέθοδοι επίσης υπερτερούν στο γεγονός ότι δεν απαιτούν συχνές δειγματοληψίες και δίνουν πληροφορίες για το επίπεδο της ρύπανσης, ανιχνεύοντας ποιοτικές αλλαγές οι οποίες δύσκολα θα ανιχνεύονταν από τις χημικές μετρήσεις.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της παρακολούθησης των υδάτων με βιολογικές μεθόδους είναι τα ακόλουθα:

- Οι βιολογικές κοινότητες αντανακλούν την ολική οικολογική κατάσταση του οικοσυστήματος.
- Οι βιολογικές κοινότητες αντανακλούν τις πιέσεις καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και παρέχουν ικανή οικολογική εκτίμηση των μεταβαλλόμενων περιβαλλοντικών συνθηκών.
- Η περιοδική καταγραφή των βιοκοινοτήτων είναι σχετικά μη δαπανηρή, ειδικά όταν συγκρίνεται με το κόστος της εκτίμησης των τοξικών ρυπαντών με χημικές αναλύσεις ή με τεστ τοξικότητας.
- Σε περιπτώσεις που δεν έχουν προσδιοριστεί τα αίτια για συγκεκριμένες περιβαλλοντικές επιδράσεις, όπως για παράδειγμα μη σημειακές πηγές ρύπανσης που υποβαθμίζουν το ενδιαίτημα, οι βιολογικές μέθοδοι είναι το ιδανικό πρακτικό μέσο εκτίμησης.

Τα συστήματα βιοτικών δεικτών αποτελούν μία μέθοδο για την εκτίμηση των επιδράσεων του συνόλου των αιτιών ρύπανσης στα οικοσυστήματα των ποταμών, σε αντίθεση με τις μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων που προσδιορίζουν ποιες ακριβώς είναι οι αιτίες που προκαλούν το φαινόμενο της ρύπανσης (Γιαννάκου 2000). Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της βιολογικής έναντι της χημικής παρακολούθησης των ποταμών είναι το γεγονός ότι η χημική ανάλυση δείχνει την ποιότητα του δείγματος τη στιγμή της δειγματοληψίας, σε αντίθεση με την παρακολούθηση των οργανισμών η οποία μπορεί να δώσει μία ενιαία εικόνα για την κατάσταση ενός ενδιαιτήματος, που χρονικά να καλύπτει τις προηγούμενες εβδομάδες ή και μήνες (Αναγνωστοπούλου 1992).

Η συμβολή της βιολογικής κοινότητας στη συλλογή πληροφοριών για την εκτίμηση της συνολικής ποιότητας του νερού είναι πολύ σημαντική. Η παρουσία ή απουσία μιας βιοκοινότητας σε ένα οικοσύστημα εξαρτάται και καθορίζεται από το περιβάλλον στο οποίο διαβιεί. Κάθε είδος ή ομάδα ειδών έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις φυσικοχημικών παραμέτρων προκειμένου να εξασφαλιστεί η διαβίωσή του. Αλλαγές στην παρουσία ή απουσία, στον αριθμό, ή στη συμπεριφορά των ειδών φανερώνουν ότι κάποιοι παράμετροι του περιβάλλοντός τους είναι εκτός ορίων ανοχής τους.

Οι οργανισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της κατάστασης του περιβάλλοντος, ονομάζονται **βιοτικοί δείκτες**. Ειδικότερα, οι βιοτικοί δείκτες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αλλαγών του φυσικού περιβάλλοντος, την ανίχνευση της παρουσίας μόλυνσης ή και ρύπανσης και της παρακολούθησης του αντίκτυπού της στο οικοσύστημα όπου ζουν οι οργανισμοί, την παρακολούθηση της προόδου αποκατάστασης του περιβάλλοντος και τον έλεγχο ουσιών (π.χ. πόσιμο νερό) για την παρουσία μολυσματικών παραγόντων.

Η παρουσία ενός οργανισμού – δείκτη εν αφθονία υποδηλώνει ότι οι φυσικές, χημικές και θρεπτικές του ανάγκες πληρούνται. Όταν η ποιότητα ενός ενδιαιτήματος χειροτερεύει εξαφανίζονται πρώτα τα πιο ευαίσθητα είδη και σταδιακά τα υπόλοιπα, ενώ κατορθώνουν να επιβιώσουν τα πιο ανθεκτικά είδη στη ρύπανση. Μετά από ένα χρονικό διάστημα ο πληθυσμός των ανθεκτικών ειδών στη ρύπανση πολλαπλασιάζεται εξαιτίας του μικρότερου ανταγωνισμού και της ύπαρξης άφθονης τροφής. Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της βιοποικιλότητας του περιβάλλοντος.

Ένας ευαίσθητος περιβαλλοντικός δείκτης πρέπει να έχει συγκεκριμένες περιβαλλοντικές ανοχές μικρού εύρους (Ghetti & Ravera 1993). Η παρουσία ενός είδους, του οποίου η κατανομή και η αφθονία δεν επηρεάζονται από σημαντικές μεταβολές στις φυσικοχημικές παραμέτρους ποιότητας των νερών, δεν μπορεί να αποτελεί έναν ευαίσθητο δείκτη ποιότητας του περιβάλλοντος στο οποίο ζει (Johnson *et al.* 1993). Εκτός από την παραπάνω κυρίαρχη ιδιότητα, ένας οργανισμός που λειτουργεί ως τμήμα του βιοτικού δείκτη θα πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Hellowell 1986, Γιαννάκου 2000):

- Διεθνώς αναγνωρισμένη ταξινόμηση.
- Μεγάλο μέγεθος σώματος για εύκολη ταξινόμηση.
- Μεγάλη γεωγραφική κατανομή (προκειμένου να είναι εφικτή η σύγκριση των αποτελεσμάτων σε τοπική και διεθνή κλίμακα).
- Αριθμητική αφθονία για ευκολία στη δειγματοληψία και στην ποσοτική ανάλυση.
- Μικρή διακύμανση των γενετικών και οικολογικών χαρακτηριστικών του (δηλαδή να παρουσιάζει ίδια μορφολογικά και ανατομικά χαρακτηριστικά καθώς και παρόμοια συμπεριφορά σε διαφορετικά μήκη και πλάτη).

- Περιορισμένη κινητικότητα (για να είναι αντιπροσωπευτικός δείκτης του περιβάλλοντος στο οποίο βρέθηκε).
- Να έχει μεγάλης διάρκειας κύκλο ζωής προκειμένου η δειγματοληψία να μπορεί να πραγματοποιείται όλο το χρόνο.
- Να είναι γνωστή η οικολογία του σε ικανοποιητικό βαθμό.
- Να έχει δυνατότητα πειραματικών εφαρμογών σε εργαστηριακή κλίμακα.

1.4 Τα βενθικά μακροασπόνδυλα ως δείκτες οικολογικής ποιότητας των επιφανειακών υδάτων – Χρησιμοποιούμενοι δείκτες στην Ευρώπη

Ως βιολογικός δείκτης ποιότητας υδάτων ορίζεται, σύμφωνα με τους Couillard & Lefebvre 1985, «ένας αλγόριθμος που εκφράζει ποσοτικά την εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων. Είναι μια απλοποιημένη έκφραση περίπλοκων συνδυασμών αρκετών παραγόντων και η εφαρμοσιμότητά του βασίζεται στην αξιοπιστία του και στην ποσότητα των πληροφοριών που παρέχει>>».

Η χρήση βιολογικών δεικτών ή βιοδεικτών όπως αλλιώς ονομάζονται, για την εκτίμηση της ποιότητας των επιφανειακών υδάτων μπορεί να θεωρηθεί ότι ξεκίνησε από τους Kolenati (1848) και Cohn (1853), όπως αναφέρει ο Liebmann (1962). Οι ερευνητές αυτοί διαπίστωσαν την παρουσία διαφορετικών βιοκοινοτήτων μεταξύ καθαρών και μολυσμένων υδάτων. Από τότε έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων για την εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων οι οποίες συνοψίζονται σε δύο κατηγορίες: Στο σαπροφυτικό σύστημα των Kolkwitz & Marsson (1902) το οποίο αναπτύχθηκε στην Ευρώπη, τροποποιήθηκε αργότερα από άλλους ερευνητές (Liebmann 1962, Sladeczek 1973) και βασίζεται κυρίως στην παρουσία μικροσκοπικών ειδών που λειτουργούν ως δείκτες και ανήκουν στις πλαγκτονικές και περιφυτικές κοινότητες και στο σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες της

Αμερικής (Richardson 1928, Bartch & Ingram 1966), το οποίο εστιάζει στην παρουσία ή απουσία των μακροασπονδύλων ως βιολογικών δεικτών.

Ο όρος μακροασπόνδυλα δεν αποτελεί όρο της συστηματικής αλλά καθιερώθηκε για να περιγράψει μία μερίδα μόνο της ομάδας των ασπονδύλων (Tercedor 2006). Τα μακροασπόνδυλα θα μπορούσαν να περιγραφούν ως οι οργανισμοί εκείνοι οι οποίοι μπορούν να συγκρατηθούν από δίχτυ με άνοιγμα ματιού 500 έως 1000μm, είναι αντιληπτοί με γυμνό μάτι και το μέγεθός τους είναι περίπου 1mm (Sladeczek 1973, Cummins 1975, De Pauw & Vanhooren 1983, Rosenberg & Resh 1993, Ghetti, 1997, Tachet 2002). Είναι οργανισμοί υδρόβιοι και περνούν κάποιο στάδιο ή και ολόκληρη τη ζωή τους στο βυθό ενός υδάτινου σώματος. Οι κοινωνίες των βενθικών μακροασπονδύλων αποτελούνται από τα παρακάτω φύλα: αρθρόποδα (έντομα, ισόποδα, αμφίποδα και άλλα καρκινοειδή), ανελίδες (σκώληκες και βδέλλες), μαλάκια (γαστερόποδα, δίθυρα) και πλατυέλμινθες.

Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί πάνω από 100 διαφορετικοί δείκτες (De Pauw *et al.* 1992, Ghetti & Ravera 1994, Hering *et al.* 2004). Οι κυριότεροι από αυτούς είναι ο Βελγικός BBI (De Pauw & Vanhooren 1983), οι BMWP και ASPT (Chesters 1980, Armitage *et al.* 1983) που χρησιμοποιούνται στα ποτάμια της Μεγάλης Βρετανίας, οι Ισπανικοί IBMWP (Tercedor & Ortega 1988) και IASPT (Rodriguez & Wright 1987), ο LQI (Extence *et al.* 1987) και ο Ιταλικός IBE (Ghetti & Bonazzi 1981), ενώ ορισμένοι από αυτούς υπέστησαν τροποποιήσεις από ερευνητές άλλων χωρών προκειμένου να προσαρμοστούν στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε χώρας όπως για παράδειγμα συνέβη με την τροποποίηση του IBMWP προς διαμόρφωση του Ελληνικού Βιοτικού δείκτη (Iliopoulou-Georgudaki *et al.* 2003).

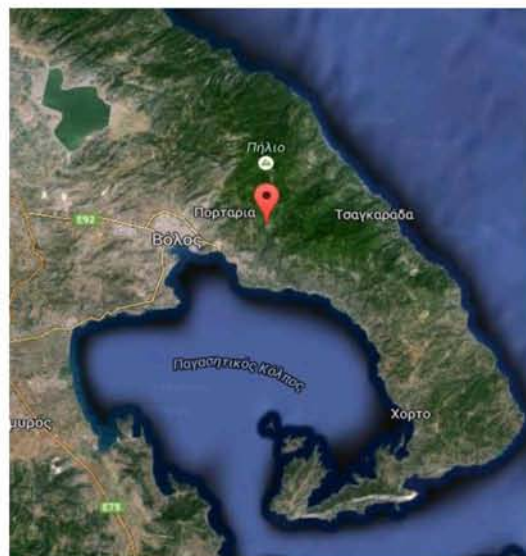
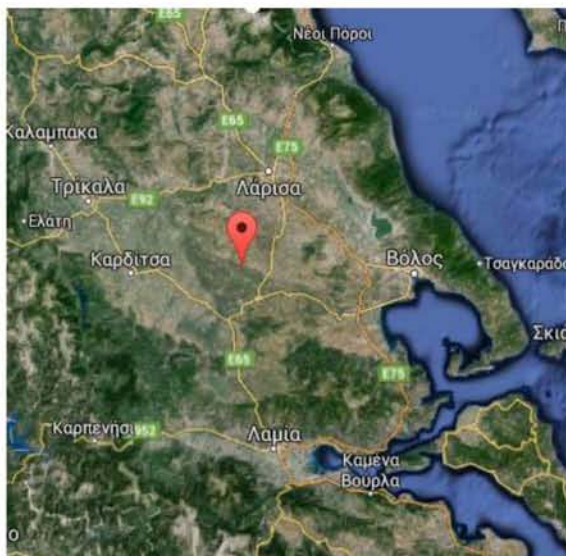
1.5 Σκοπός

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η εκτίμηση ποιότητας υδάτων του ποταμού Ενιπέα και του ρέματος Βρύχωνα με τη χρήση διαφορετικών βιοτικών δεικτών. Για το λόγο αυτό συλλέχτηκαν και αναγνωρίστηκαν βενθικά μακροασπόνδυλα και από τις δυο περιοχές μελέτης για δυο διαφορετικές εποχές (Καλοκαίρι, Φθινόπωρο). Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν 6 Ευρωπαϊκοί δείκτες και 2 Ελληνικοί δείκτες ώστε να εντοπιστούν οι πιθανές διαφοροποιήσεις μεταξύ αυτών και να συγκριθούν με τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του νερού.

2. ΥΔΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιοχή μελέτης

Η παρούσα έρευνα ξεκίνησε το καλοκαίρι του 2014 στα πλαίσια της προπτυχιακής μου εργασίας προκειμένου να γίνει μια προσπάθεια για την εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων στους ποταμούς Ενιπέα και Βρύχωνα.



Εικόνα 2.1:Περιοχή μελέτης, Ποταμός Ενιπέας **Εικόνα 2.2:**Περιοχή μελέτης, ρέμα Βρύχωνα

Ο Ενιπέας είναι ένας από τους κυριότερους παραποτάμους του Πηνίου και πηγάζει από το Όρος Όθρυς (Εικ. 2.1). Το μήκος του Ενιπέα με το οφιοειδές σχήμα του είναι 84 χιλιόμετρα. Τους καλοκαιρινούς μήνες, στα μέρη εκείνα, όπου υπάρχουν καλλιεργήσιμα εδάφη, το ποτάμι στερεύει. Κύρια αιτία γι' αυτό είναι η άντληση των επιφανειακών αλλά και υπόγειων υδάτων για την άρδευση των χωραφιών. Πριν την εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτων με γεωτρήσεις, το ποτάμι είχε συνεχή ροή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Ο Βρύχωνας βρίσκεται στο Πήλιο, στο Νομό Μαγνησίας και είναι ένα εποχιακό ποτάμι με πυκνή βλάστηση που αποτελείται κυρίως από πλατάνους (Εικ. 2.2). Ο Βρύχωνας διασχίζει τα χωριά του Πηλίου και τελικά εκβάλλει στον Παγασητικό κόλπο.

Συνολικά επιλέχτηκαν 4 θέσεις δειγματοληψίας. Οι δυο βρίσκονται κατά μήκος του ποταμού Ενιπέα στις θέσεις Ανάβρα και Καστράκι ενώ οι άλλες δυο κατά μήκος του ρέματος Βρύχωνα στις θέσεις Σερβανάτες και Καραμάνη (Εικ. 2.3-2.6). Η δειγματοληψία επαναλήφθηκε ακόμη μια φορά κατά το μήνα Νοέμβριο ώστε να μετρηθούν τα ίδια ποιοτικά στοιχεία, τα όποια θα επέτρεπαν μια περισσότερο ολοκληρωμένη εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης του νερού στους σταθμούς αυτούς.



Εικόνα 2.3: Σταθμός Σερβανάτες. στο ρέμα Βρύχωνα



Εικόνα 2.4: Σταθμός Καραμάνη στο ρέμα Βρύχωνα



Εικόνα 2.5: Σταθμός Ανάβρα. Ποταμός Ενιπέας



Εικόνα 2.6: Σταθμός Καστράκι. Ποταμός Ενιπέας

2.2 Μέθοδος δειγματοληψίας βενθικών μακροασπόνδυλων

Στην παρούσα εργασία η συλλογή των βενθικών μακροασπόνδυλων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του δειγματολήπτη Surber (Εικ. 2.7). Ο συγκεκριμένος δειγματολήπτης αποτελείται από δυο τετράγωνα σταθερά πλαίσια σε κάθετη διάταξη μεταξύ τους εκ των οποίων στο ένα είναι τοποθετημένο δίχτυ με άνοιγμα ματιού 900 μm . Ο δειγματολήπτης προορίζεται για χρήση σε ρηχά τρεχούμενα νερά όπου το υπόστρωμα είναι αρκετά ομοιόμορφο.



Εικόνα 2.7: Δειγματολήπτης τύπου Surber

Το ελεύθερο πλαίσιο τοποθετήθηκε στον πυθμένα σε τυχαία θέση του ποταμού παράλληλα με τη ροή του νερού έτσι ώστε το πλαίσιο με το δίχτυ να βρίσκεται κάθετα στο ρεύμα του ποταμού. Εφόσον εξασφαλίστηκε η σταθερότητα του δειγματολήπτη, αφαιρέθηκαν και τριφτήκαν με προσοχή οι μεγάλες πέτρες από τον πυθμένα που βρισκόταν όντος του πλαισίου. Αυτή η διαδικασία στοχεύει στην αποκόλληση των

προνυμφών από διάφορες επιφάνειες όπως πέτρες και βράχους ώστε να παρασυρθούν στη συνέχεια από τη ροή του νερού μέσα στο δίχτυ. Στη συνέχεια ακολούθησε αναμόχλευση του πυθμένα σε βάθος 5-10 cm.

Για όλη την διαδικασία δειγματοληψίας απαιτείται ένας μέσος χρόνος των 5 λεπτών και εφαρμόστηκε δυο φορές για κάθε σταθμό δειγματοληψίας. Σε περιοχές όπου η ροή δεν ήταν ικανοποιητική ώστε να παρασύρει τους οργανισμούς στο δίχτυ προκαλούσαμε εμείς επιπλέον ροή σπρώχνοντας το νερό προς το δίχτυ.

Τέλος αφαιρούσα την αποχή από το νερό και την τοποθετούσα σε μια λεκάνη, άδειαζα με προσοχή το περιεχόμενο που είχαμε συλλέξει μέσα στη λεκάνη και ελέγχαμε αν έχουν μείνει οργανισμοί κολλημένοι στο δίχτυ. Έπειτα ελάμβανε χώρα η συλλογή και αποθήκευση των υδρόβιων εντόμων σε πλαστικά φιαλίδια που περιείχαν 95% αλκοόλη.

Στο εργαστήριο Ιχθυολογίας-Υδροβιολογίας του τμήματος Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος πραγματοποιήθηκε ο πρώτος διαχωρισμός των οργανισμών από τα διάφορα υλικά που είχαν παγιδευτεί στο δείγμα και προσδιορίστηκαν μέχρι το επίπεδο της οικογένειας. Ο προσδιορισμός των μακροασπονδύλων έγινε με τη βοήθεια διαφορετικών κλειδών (Nilsson 1996, McCafferty 1998, Merrit & Cummins 1996) και σε στερεοσκόπιο τύπου Olympus SZX9 συνδεδεμένο με ψηφιακή κάμερα. Οι ταξινομικές ομάδες που βρέθηκαν σε κάθε δείγμα και οι αφθονίες των οργανισμών καταγράφηκαν σε πίνακες του προγράμματος Microsoft Office Excel 2007.

2.3 Μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων

Σε κάθε σταθμό δειγματοληψίας μετρήθηκαν συνολικά έξι (6) παράμετροι όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.1. Αυτές μετρήθηκαν *in situ* ή με αναλυτικές μεθόδους στο εργαστήριο της Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης - Αποχέτευσης Μείζονος Περιοχής Βόλου (ΔΕΥΑΜΒ) όπου πραγματοποίησα την πρακτική μου άσκηση. Για τον λόγο αυτό συλλέχτηκαν δείγματα νερού σε πλαστικά δοχεία. Τα δοχεία συντηρήθηκαν σε πάγο μέχρι το πέρας της δειγματοληψίας και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο άμεσα.

Το pH και η αγωγιμότητα μετρήθηκαν επιτόπου στο πεδίο με το πολύμετρο τύπου consort c531. Το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο (DO%) και η θερμοκρασία του νερού (T (°C)) μετρήθηκαν επίσης επιτόπου με το οξυγονόμετρο τύπου HD 2109.1. Ο φώσφορος των ορθοφωσφορικών ιόντων και το άζωτο των νιτρωδών μετρήθηκαν με φασφατοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 415 nm με έτοιμα kits.

Πίνακας 2.1: Φυσικοχημικές παράμετροι και μέθοδοι μέτρησης τους

Παράμετροι	Μέθοδοι
pH	Αγωγιμόμετρο Consort c531
T (°C)	Οξυγονόμετρο HD 2109.1
Αγωγιμότητα	Αγωγιμόμετρο Consort c531
DO %	Οξυγονόμετρο HD 2109.1
Νιτρικά	Φασματοφωτόμετρο
Φωσφορικά	Φασματοφωτόμετρο

Οι τιμές των φυσικοχημικών παραμέτρων που μετρήθηκαν αξιολογήθηκαν με βάση τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Κοινότητας για το πόσιμο νερό (οδηγία 98/83/EK). Στον Πίνακα 2.2 φαίνονται τα ποιοτικά πρότυπα των φυσικοχημικών παραμέτρων που πρέπει να τηρούνται σύμφωνα με την απόφαση αυτή.

Πίνακας 2.2: Πρότυπα ποιότητας υδάτων (98/83/EK)

Παράμετροι	Όρια	Νομικό πλαίσιο
pH	$\geq 6,5$ και $\leq 9,5$	98/83/EK
Αγωγιμότητα	$< 2,5 \text{ mS / cm}$	98/83/EK
DO	$> 3 \text{ mg / L}$	NA
Νιτρικά	$< 50 \text{ mg / L}$	98/83/EK
Φωσφορικά	$< 0.7 \text{ mg / L}$	NA

2.4 Βιολογικοί Δείκτες βασισμένοι στα βενθικά μακροασπόνδυλα στην Ευρώπη

2.4.1. Ο βιοδείκτης Extended Trent Biotic Index (ETBI)

Το περιορισμένο εύρος τιμών που λαμβάνει ο βιοδείκτης TBI οδήγησε αρκετούς επιστήμονες να εκφράσουν τις επιφυλάξεις τους στο κατά πόσο ο συγκεκριμένος βιοδείκτης είναι αρκετά ευαίσθητος και ικανός να διαχωρίσει μικρές διαφορές στην ποιότητα των υδάτων (Pinder *et al.* 1987). Η κριτική αυτή οδήγησε στη διεύρυνση του βιοδείκτη και την αντικατάσταση του από τον βιοδείκτη Extended Trent Biotic Index (ETBI), ο οποίος λαμβάνει τιμές από 0 έως 15 (Πίν. 2.3 και 2.4). Όπως και ο βιοδείκτης TBI, ο βιοδείκτης ETBI δεν λαμβάνει υπόψη του την αφθονία των μακροασπόνδυλων, με αποτέλεσμα η τυχαία παρουσία ενός οργανισμού στο δείγμα (μεταφορά με τον αέρα ή το ρεύμα του νερού) να μπορεί να αλλάξει δραστικά την τιμή του βιοδείκτη και να οδηγήσει σε λάθος συμπεράσματα για την ποιότητα των υδάτων.

Πίνακας 2.3. Πίνακας υπολογισμού του βιοδείκτη Extended Trent Biotic Index (ETBI)

			Συνολικός αριθμός ταξινομικών ομάδων									
			0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45
			Τιμές Βιοδείκτη									
Καθαρά	Πλεκόπτερα	Περισσότερα από ένα είδος	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Μακροασπόνδυλα με τάση εξαφάνισης με την αύξηση της υποβάθμισης των υδάτων		Μόνο ένα είδος	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Εφημερόπτερα	Περισσότερα από ένα είδος	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Μόνο ένα είδος	-	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Τριχόπτερα ή <i>Baetis</i> sp.	Περισσότερα από ένα είδος	-	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		Μόνο ένα είδος	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	<i>Gammarus</i> sp.	Όλα τα παραπάνω είδη	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	<i>Asellus</i> sp.	Όλα τα παραπάνω είδη	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Ολιγόχαιτοι Tubificidae ή προνύμφες Chironomidae	Όλα τα παραπάνω είδη απόντα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ρυπασμένα	Οργανισμοί όπως ο <i>Eristalis tenax</i> που δεν απαιτούν διαλυμένο		0	1	2	-	-	-	-	-	-	-

Πηγή: Persoone & De Pauw 1979

Πίνακας 2.4. Ποιότητα υδάτων σύμφωνα με τον βιοδείκτη ETBI

Τιμές βιοδείκτη ETBI	Ποιότητα Υδάτων
10 – 15	Πολύ Καλή
9 – 10	Καλή
8 – 9	Μέτρια
6 – 7	Κακή
3 – 5	Πολύ Κακή

Πηγή: Persoone & De Pauw 1979

2.4.2. Ο βιοδείκτης Belgian Biotic Index (BBI)

Ο βιοδείκτης BBI (DePauw & Vanhooren 1983) βασίστηκε σε έναν προγενέστερο βιοδείκτη, τον βιοδείκτη Indice Biotique (IB), ο οποίος αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στη Γαλλία (Tuffery & Verneaux 1968). Τόσο ο βιοδείκτης IB όσο και ο βιοδείκτης BBI έχουν σαν βάση τους το βιοδείκτη Trent Biotic Index, με τη διαφορά ότι λαμβάνουν υπόψη τους μεγαλύτερο αριθμό ταξινομικών ομάδων απ' ό,τι ο βιοδείκτης TBI. Επιπλέον, κάποιες ταξινομικές ομάδες στον βιοδείκτη BBI έχουν διαφορετικό βάρος απ' ό,τι στον βιοδείκτη TBI (Πίν. 2.5). Για παράδειγμα, η τάξη των Τριχοπτέρων διαιρείται σε είδη με και χωρίς κολεό, εξαιτίας της μεγαλύτερης ευαισθησίας των ειδών που κατασκευάζουν θήκες στη ρύπανση. Το ίδιο συμβαίνει και με την οικογένεια Ecdyonuridae, η οποία διαχωρίζεται από τις υπόλοιπες οικογένειες Εφημεροπτέρων εξαιτίας της μεγαλύτερης ευαισθησίας της. Τέλος, για να μειωθεί η πιθανότητα η τυχαία παρουσία ενός οργανισμού να αλλοιώσει τα αποτελέσματα της ανάλυσης, στον βιοδείκτη λαμβάνονται υπόψη μόνο όσες ταξινομικές ομάδες αντιπροσωπεύονται από περισσότερα από δύο άτομα. Στον Πίνακα 2.4 αναγράφονται οι κλάσεις ποιότητας του νερού σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δείκτη.

Πίνακας 2.4. Ποιότητα υδάτων σύμφωνα με τον βιοδείκτη Belgian Biotic Index (BBI)

Τιμές βιοδείκτη BBI	Ποιότητα Υδάτων
9 – 10	Πολύ Καλή
7 – 8	Καλή
5 – 6	Μέτρια
3 – 4	Κακή
0 – 2	Πολύ Κακή

Πηγή: DePauw & Vanhooren 1983

Πίνακας 2.5. Πίνακας υπολογισμού του βιοδείκτη Belgian Biotic Index (BBI)

			Συνολικός αριθμός ταξινομικών ομάδων				
			0-1	2-5	6-10	11-15	16+
			Τιμές Βιοδείκτη				
Καθαρά	Πλεκόπτερα ή Ecdyonuridae	Περισσότερα από ένα είδος	-	7	8	9	10
Μακροασπόνδυλα με τάση εξαφάνισης με την αύξηση της υποβάθμισης των υδάτων	(Syn. Heptageniidae)	Μόνο ένα είδος	5	6	7	8	9
	Τριχόπτερα με κολεό	Περισσότερα από ένα είδος	-	6	7	8	9
		Μόνο ένα είδος	5	5	6	7	8
	Εφημερόπτερα (εκτός Ecdyonuridae) ή Ancyliidae	Περισσότερα από ένα είδος	-	5	6	7	8
		Μόνο ένα είδος	3	4	5	6	7
	Οδοντόγναθα ή <i>Aphelocheirus</i> sp. ή Gammaridae ή Μαλάκια (εκτός Sphaeridae)	Όλα τα παραπάνω είδη απόντα	3	4	5	6	7
	<i>Asellus</i> sp. ή Hirudinea ή Sphaeridae ή Ημίπτερα	Όλα τα παραπάνω είδη απόντα	2	3	4	5	-
	Tubitricidae ή Chironomidae	Όλα τα παραπάνω είδη απόντα	1	2	3	-	-
Ρυπασμένα	Eristalinae (= Syrphidae)	Όλα τα παραπάνω είδη απόντα	0	1	1	-	-

Πηγή: DePauw & Vanhooren 1983

2.4.3 Ο βιοδείκτης Biological Monitoring Working Party (BMWP)

Ο δείκτης BMWP (Biological Monitoring Working Party) δημιουργήθηκε το 1981 από το Βρετανικό Εθνικό Συμβούλιο των Υδάτων (National Water Council). Αποτελεί ένα σύστημα βιοτικού δείκτη το οποίο προσπάθησε να εντάξει και στοιχεία ποσοτικής ανάλυσης των ειδών, τα οποία όμως στην εφαρμογή του εγκαταλείφθηκαν.

Η ταξινόμηση των ατόμων στον δείκτη BMWP γίνεται στο επίπεδο της οικογένειας των μακροσπόνδυλων, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο χρόνος επεξεργασίας των δειγμάτων. Με αυτόν τον τρόπο τα δείγματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιογένεια, αποφεύγονται τυχόν διακυμάνσεις που οφείλονται σε εσφαλμένη αναγνώριση των ειδών και επιτυγχάνεται μεγαλύτερο εύρος εφαρμογής του δείκτη.

Ο δείκτης BMWP κατά την πρώτη περίοδο εφαρμογής του διαχώρισε τη συλλογή βενθικών οργανισμών σε άτομα που συλλέγονται σε περιοχές που επικρατεί η διαδικασία της διάβρωσης και σε άτομα που συλλέγονται σε περιοχές που επικρατεί η διαδικασία ιζηματοποίησης. Ο διαχωρισμός αυτός αργότερα εγκαταλείφθηκε και η βαθμολογική κλίμακα για τη ζώνη ιζηματοποίησης εφαρμόζεται σε ολόκληρο το δείκτη. Η βαθμολογία της κάθε οικογένειας κυμαίνεται από 1 έως 10 ανάλογα με την ανθεκτικότητά της στη ρύπανση (συνήθως οργανική). Στις ευαίσθητες ταξινομικές ομάδες αντιστοιχούν υψηλές τιμές ενώ στις ανθεκτικότερες ομάδες στη ρύπανση, χαμηλότερες (Πίνακας 2.6).

Την τελική βαθμολογία για έναν τόπο δειγματοληψίας αποτελεί το άθροισμα των βαθμών που έλαβαν οι οικογένειες που βρέθηκαν στον τόπο αυτό. Παρόλο που ο δείκτης BMWP δεν έχει ανώτατο όριο, τιμές πάνω από 200 είναι σπάνιες. Οι χαμηλές

τιμές του δείκτη υποδεικνύουν χαμηλή ποιότητα των υδάτων, ενώ οι υψηλότερες είναι ενδεικτικές για ύδατα υψηλότερης ποιότητας.

Πίνακας 2.6: Βαθμολογία του δείκτη BMWP

Οικογένειες	Βαθμολογία
Siphonuridae, Heptagenidae, Leptophlebiidae, Ephemerellidae, Potamanthidae, Ephemeridae, Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Chloroperlidae, Aphelocheiridae, Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae	10
Astacidae, Lestidae, Agriidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae, Psychomyiidae, Philopotamidae	8
Caenidae, Nemouridae, Rhyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephilidae	7
Neritidae, Viviparidae, Ancylidae, Hydroptilidae, Unionidae, Corophiidae, Gammaridae, Platycnemididae, Coenagriidae	6
Notonectidae, Pleidae, Corixidae, Haliplidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Clambidae, Helodidae, Dryopidae, Elminthidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Simuliidae, Plananiidae, Dendrocoelidae	5
Baetidae, Sialidae, Piscicolidae	4
Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeriidae, Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpobdellidae, Asellidae	3
Chironomidae	2
Oligochaeta (όλη η κλάση)	1

2.4.4 Ο βιοδείκτης Average Score Per Taxon (ASPT)

Ο δείκτης ASPT υπολογίζεται με τη διαίρεση της τελικής βαθμολογίας του δείκτη BMWP με τον αριθμό των ταξινομικών μονάδων που λαμβάνονται υπόψη για τον υπολογισμό του τελευταίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να περιορίζονται όλες οι τιμές στο διάστημα από 1 έως 10 και ο δείκτης είναι ανεξάρτητος των ταξινομικών μονάδων. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο ο BMWP δεν επηρεάζεται από τις εποχιακές διακυμάνσεις, την τεχνική δειγματοληψίας και επομένως παρουσιάζει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός δείκτη για την εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων.

2.4.5. Ο βιοδείκτης Iberian Biological Monitoring Working Party (IBMWP)

Ο βιοδείκτης IBMWP είναι ίδιος σε ότι αφορά στον τρόπο υπολογισμού του με τον BMWP, με τη διαφορά ότι λαμβάνει υπόψη επιπλέον οικογένειες βενθικών μακροασπονδύλων που απαντώνται στα ρέοντα υδάτινα οικοσυστήματα της Ιβηρικής Χερσονήσου, όπου και αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά. Οι βαθμολογίες των διαφόρων οικογενειών σύμφωνα με τον βιοδείκτη IBMWP και οι τιμές που παίρνει ο βιοδείκτης με τις αντίστοιχες κλάσεις ποιότητας των υδάτων παρουσιάζονται στους Πίνακες 2.7 και 2.8, αντίστοιχα.

Πίνακας 2.7. Οικογένειες βενθικών μακροασπονδύλων και βαθμολογίες τους σύμφωνα με τον βιοδείκτη Iberian Biological Monitoring Working Party (IBMWP).

Οικογένειες Βενθικών Μακροασπονδύλων	Βαθμολογία
Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Potamanthidae, Ephemeridae, Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae, Aphelocheiridae, Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae, Athericidae, Blephariceridae	10
Astacidae, Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae, Psychomyiidae, Philopotamidae, Glossosomatidae	8
Ephemerellidae, Nemuridae, Rhyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephilidae	7
Neritidae, Viviparidae, Ancyliidae, Hydroptilidae, Unionidae, Corophiidae, Gammaridae, Platycnemididae, Coenagriidae	6
Oligoneuriidae, Dryopidae, Elminthidae, Helophoridae, Hydrochidae, Hydraenidae, Clambidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Simuliidae, Planariidae, Dendrocoelidae, Dugesiidae	5
Baetidae, Sialidae, Piscicolidae, Caenidae, Hidracarina, Haliplidae, Curculionidae, Chrysomelidae, Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Dolichopodidae, Dixidae, Ceratopogonidae, Anthomyidae, Limoniidae, Psychodidae	4
Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae, Helodidae, Hydrophilidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Bithyniidae, Bythinellidae, Sphaeridae, Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpbdellidae, Asellidae, Ostracoda	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Thaumaleidae, Ephydriidae	2
Oligochaeta	1

Πηγή: Tercedor & Ortega 1988

Πίνακας 2.8. Ποιότητα υδάτων σύμφωνα με τον βιοδείκτη IBMWP

Τιμές βιοδείκτη BMWP	Ποιότητα Υδάτων
>100	Πολύ Καλή
61-100	Καλή
36-60	Μέτρια
16-35	Κακή
<15	Πολύ Κακή

Πηγή: Tercedor & Ortega 1988

2.5 Βιολογικοί Δείκτες βασισμένοι στα βενθικά μακροασπόνδυλα στην Ελλάδα

2.5.1 Hellenic Evaluation Score (HES)

Ο δείκτης HES (Artemiadou & Lazaridou 2004) και ο δείκτης μετάφρασής του (Interpretation Index) αναπτύχθηκε βασισμένος στην εύκολη συλλογή των δειγμάτων α) από όλες τις εποχές που αντανακλούν κάθε είδους εποχιακής επίδρασης, β) από διαφορετικούς τύπους υποστρωμάτων και γ) με διαφορετικά χαρακτηριστικά των ενδιαιτημάτων που αντιπροσωπεύουν ορισμένες από τις παραμέτρους του Συστήματος Β από την τυπολογία των ποταμών της Οδηγίας – Πλαίσιο. Για τη δημιουργία του δείκτη HES τροποποιήθηκε ο Ισπανικός δείκτης IBMWP (Iberian Biological Monitoring Working Party), ο οποίος βασίζεται στην αναγνώριση των βενθικών μακροασπόνδυλων στο επίπεδο της οικογένειας.

Ο δείκτης IBMWP επιλέχθηκε διότι σχεδιάστηκε για τα ισπανικά ποτάμια και περιλαμβάνει περισσότερες οικογένειες που είναι παρούσες και στα ελληνικά ποτάμια συγκριτικά με το Βρετανικό δείκτη BMWP (Biological Monitoring Working Party). Παρόλα αυτά έχει αποδειχθεί ότι τα ελληνικά ποτάμια περιλαμβάνουν περισσότερες ταξινομικές ομάδες απ' ότι ο δείκτης IBMWP. Έτσι ο πίνακας του

δείκτη IBMWP έχει τροποποιηθεί σύμφωνα με τις ταξινομικές ομάδες που έχουν συλλεχθεί ή αναμένονται να υπάρχουν στα ελληνικά ποτάμια.

Η κυριότερη διαφορά του δείκτη HES από τον Βρετανικό (BMWP) και Ισπανικό (IBMWP) δείκτη είναι το γεγονός ότι περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες σχετικής αφθονίας, οι οποίες σε συνδυασμό με την ποικιλότητα του ενδιαιτήματος αποδείχθηκε βοήθεια για μία πιο ακριβή ταξινόμηση των τόπων σύμφωνα με την ποιότητα των υδάτων τους, ειδικά για τους τόπους μέτριας οικολογικής ποιότητας.

Για τον υπολογισμό του δείκτη HES τα δείγματα προ – ταξινομούνται σε τρεις ομάδες οικολογικής ποιότητας: «καθαρά» (clean), «μέτρια» (moderate) και «φτωχά» (poor). Η ταξινόμηση αυτή γίνεται βάση της παρουσίας ή απουσίας σημειακών πηγών ρύπανσης ανάντη των τόπων δειγματοληψίας ή/και διάχυτης ρύπανσης ως αποτέλεσμα έντονων αγροτικών δραστηριοτήτων. Τα «καθαρά» περιλαμβάνουν δείγματα από τόπους αναφοράς ή μη διαταραγμένους τόπους, τα «ρυπασμένα» περιλαμβάνουν δείγματα από ρυπασμένους τόπους με κακή ή πολύ κακή ποιότητα νερού και τα «μέτρια» αναφέρονται σε δείγματα που δεν ανήκουν ξεκάθαρα στις δύο προαναφερθέντες κατηγορίες ποιότητας. Στον υπολογισμό του δείκτη IBMWP (Iberian Biological Monitoring Working Party) η αφθονία δεν λαμβάνεται υπόψη, σε αντίθεση με τον υπολογισμό του δείκτη HES όπου η αφθονία περιλαμβάνεται. Συγκεκριμένα, η πιο ακριβής εκτίμηση της ποιότητας του νερού ενός τόπου υπολογίστηκε από το δείκτη HES, όταν η αφθονία συμπεριλήφθηκε, ενώ η μορφή του δείκτη HES και του δείκτη μετάφρασης που δεν περιλαμβάνει τις κατηγορίες αφθονίας είτε δεν ταξινομεί τα μέτριας οικολογικής ποιότητας δείγματα επιτυχώς ή αποδείχθηκε ότι εξαρτάται από την εποχή. Δεδομένου ότι η απόλυτη αφθονία ποικίλει σημαντικά ακόμα και σε φυσικές συνθήκες και ότι η μέθοδος δειγματοληψίας ήταν ημι – ποσοτική, μόνο η σχετική αφθονία των βενθικών taxa θα

μπορούσε να περιληφθεί στον δείκτη HES και στο δείκτη μετάφρασης. Επιπροσθέτως, η σχετική αφθονία είναι ανεξάρτητη της επιφανειακής κάλυψης στο πεδίο και του αριθμού των επαναλαμβανόμενων δειγμάτων. Η ταξινόμηση του AQEM για τα ελληνικά δείγματα βασίζεται επίσης στην αφθονία, αφού περιλαμβάνει 20 δείγματα που καλύπτουν 1.25m^2 (αλλά σε αυτή την περίπτωση η δειγματοληψία και η διαλογή είναι πιο χρονοβόρες). Τελικά, τρεις κατηγορίες σχετικής αφθονίας σχηματίστηκαν: 0 – 1% («παρόντα», present), 1.01 – 10% («κοινά», common) και >10% («άφθονα», abundant). Οι τιμές των οικογενειών αυξάνονται ανάλογα με τη σχετική αφθονία των ευαίσθητων taxa ή μειώνεται ανάλογα με τη σχετική αφθονία των ανθεκτικών taxa.

Ο δείκτης HES αποτελεί σύστημα βαθμονόμησης (score) και όχι βιοτικό δείκτη και επιλέχθηκε διότι τα βαθμονομικά συστήματα εκτίμησης λαμβάνουν υπόψη σχεδόν όλα τα taxa που είναι παρόντα σε έναν τόπο και όχι μόνο συγκεκριμένα taxa με αποτέλεσμα οι πληροφορίες που συλλέγονται να είναι πιο αντιπροσωπευτικές της βενθικής κοινωνίας.

Η τιμή του δείκτη HES είναι το άθροισμα των τιμών των οικογενειών που συλλέγονται ανά δείγμα (Πίν. 2.9). Επομένως, η τιμή του δείκτη επηρεάζεται από τον αριθμό των taxa που συλλέγεται. Ειδικά στα oligοτροφικά οικοσυστήματα, τα οποία φυσικά υποστηρίζουν φτωχή πανίδα εξαιτίας της έλλειψης της χλωρίδας και των αλγών, η τιμή θα είναι εσφαλμένα χαμηλή υποδεικνύοντας κακή ποιότητα νερού. Έτσι, υπολογίζεται ο μέσος όρος ανά taxon (AHES), που είναι ανεξάρτητος του αριθμού των taxa που συλλέγονται. Ο AHES υπολογίζεται διαιρώντας την τιμή του δείκτη HES με τον αριθμό των taxa που βρίσκονται και βαθμονομούνται (σε επίπεδο οικογένειας, με εξαίρεση την κλάση Oligochaeta). Ο δείκτης μετάφρασης είναι το μέσο με το οποίο η εκτίμηση της ποιότητας του νερού μπορεί να γίνει αντιληπτή από

μη ειδικούς. Οι τιμές των δεικτών HES και AHES κατηγοριοποιήθηκαν σε πέντε ομάδες και μεταφράστηκαν σε πέντε κατηγορίες ποιότητας, όπως προτείνεται από την Οδηγία – Πλαίσιο. Τελικά, ο δείκτης HES και ο δείκτης μετάφρασής του (Interpretation index) περιλαμβάνουν μία τιμή (score), ένα μέσο όρο ανά taxon και ένα δείκτη μετάφρασης, ο συνδυασμός των οποίων δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν εφαρμόζονται σε ελληνικά ρέοντα ύδατα, ειδικά σε τόπους μέτριας κατάστασης. Αυτό το σύστημα βασίζεται σε μία κοινή, εύκολα εφαρμόσιμη, αποτελεσματική ως προς τι κόστος, ημι – ποσοτική μέθοδο δειγματοληψίας. Χρησιμοποιεί την αναγνώριση στο επίπεδο της οικογένειας, η οποία είναι απλή, προσφέρει επαρκή ακρίβεια και λαμβάνει υπόψη την ποικιλότητα του ενδιαιτήματος με απλοποιημένο τρόπο.

Πίνακας 2.9. Βαθμολογία του δείκτη HES. Όπου P= παρούσες οικογένειες με σχετική αφθονία 0-1%, C= κοινές με σχετική αφθονία 1,01-10%, A= άφθονες με σχετική αφθονία >10%

Taxa	P	C	A
a) Capniidae, Chloroperlidae, b) Siphonuridae, c) Aphelocheiridae, d) Blephariceridae, e) Phryganeidae, Molanidae, Odontoceridae, Bareidae, Lepidostomatidae, Thremmatidae, Brachycentridae, Helicopsychidae	100	110	120
a) Leuctridae, Perlodidae, Perlidae, b) Sericostomatidae, Goeridae, c) Neoephemeridae	90	97	100
a) Nemouridae, Taeniopterygidae, b) Ephemeridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, c) Leptoceridae, Polycentropodidae, Psychomyidae, Philopotamidae, Limnephilidae, Rhyacophilidae, Glossosomatidae, Ecnomidae, d) Aeshnidae, Lestidae, Corduliidae, Libellulidae, e) Athericidae, Dixidae, f) Scirtidae (Helodidae), Gyrinidae, Hydraenidae, g) Sialidae, h) Grapsidae, Potamonidae (Branchyura), i) Astacidae (Macrura)	80	86	90
a) Potamanthidae, b) Calopterygidae, Cordulegasteridae, c)	70	75	78

Stratiomyidae, d)Hydrobiidae			
a) Platycnemididae, Gomphidae, b) Tabanidae, Ceratopogonidae, Empididae, c) Elminthidae, d) Viviparidae, Neritidae, e) Unionidae	60	64	67
a) Caenidae, Oligoneuriidae, Polymitarcidae, Isonychiidae, b) Hydropsychidae, c) Anchylidae, Acroloxidae, d) Gammaridae, Corophidae, e) Atyidae, Planariidae, Dendrocoelidae, Dugesidae, f) Dryopidae, Helophoridae, Hydrochidae, Clambidae, g) Psychodidae, Simuliidae	50	53	56
a) Ephemerellidae, Baetidae, b) Hydroptilidae, c) Tipulidae, Dolichopodidae, Anthomyidae, Limoniidae, d) Haliplidae, Curculionidae, Chrysomelidae, Hydroscaphidae, e) Hydracarina, f) Piscicolidae, Glossiphonidae	40	38	35
a) Coenagrionidae, b) Chironomidae (not red)a, c) Dytiscidae, Hydrophilidae, Hygrobiidae, d) Corixidae, Hebridae, Veliidae, Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Pleidae, Naucoridae, Notonectidae, Belostomatidae, e) Asellidae, Ostracoda, f) Physidae, Bythiniidae, Bythinellidae, Melaniidae (Thiaridae), Ellobiidae, g) Hirudinidae, h) Sphaeriidae, i) Oligochaeta	30	25	20
a) Chironomidae (red), Rhagionidae, Culicidae, Muscidae, Thaumaleidae, Ephydriidae, Chaoboridae, b) Lymnaeidae, Planorbidae, c) Erpobdellidae	20	12	3
a) Tubificidae, b) Valvatidae, c) Syrphidae	10	2	1

2.5.2 Ο Ελληνικός Βιοτικός Δείκτης (ΕΒΔ)

Οι Iliopoulou-Georgoudaki *et al.* 2003 πρότειναν μια τροποποίηση του βιοδείκτη IBMWP, τον Ελληνικό Βιοτικό Δείκτη, ο οποίος υπολογίζεται όπως ο IBMWP, με τη διαφορά ότι περιλαμβάνει επιπλέον τις οικογένειες Rhagionidae και Syrphidae με βαθμολογία 4 και 2, αντίστοιχα (Πίν. 2.10). Το εύρος τιμών του

βιοδείκτη κυμαίνεται από 0 έως πάνω από 100, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.11.

Πίνακας 2.10. Οικογένειες βενθικών μακροασπονδύλων και βαθμολογίες τους σύμφωνα με τον Ελληνικό Βιοτικό Δείκτη

Οικογένειες Βενθικών Μακροασπονδύλων	Βαθμολογία
Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Potamanthidae, Ephemeridae, Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae, Aphelocheiridae, Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae, Athericidae, Blephariceridae	10
Astacidae, Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae, Psychomyiidae, Philopotamidae, Glossosomatidae	8
Ephemerellidae, Nemuridae, Rhyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephilidae	7
Neritidae, Viviparidae, Ancyliidae, Hydroptilidae, Unionidae, Corophiidae, Gammaridae, Platycnemididae, Coenagriidae	6
Oligoneuriidae, Dryopidae, Elminthidae, Helophoridae, Hydrochidae, Hydraenidae, Clambidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Simuliidae, Planariidae, Dendrocoelidae, Dugesiidae	5
Baetidae, Sialidae, Piscicolidae, Caenidae, Hidracarina, Haliplidae, Curculionidae, Chrysomelidae, Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Dolichopodidae, Dixidae, Ceratopogonidae, Anthomyidae, Limoniidae, Psychodidae, Rhagionidae	4
Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae, Helodidae, Hydrophilidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Bithyniidae, Bythinellidae, Sphaeridae, Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpbdellidae, Asellidae, Ostracoda	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Thaumaleidae, Ephydriidae, Syrphidae	2
Oligochaeta	1

Πηγή: Iliopoulou *et al.* 2003

Πίνακας 2.11. Ποιότητα υδάτων σύμφωνα με τις τιμές του Ελληνικού Βιοτικού Δείκτη

Τιμές Ελληνικού Βιοτικού Δείκτη	Ποιότητα Υδάτων
>100	Πολύ Καλή
61-100	Καλή
36-60	Μέτρια
16-35	Κακή
<15	Πολύ Κακή

Πηγή: Ilioroulou *et al.* 2003

2.6 Στατιστική Ανάλυση

Προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιότητα των υδάτων σε συσχέτιση με το μακροζωοβένθος, υπολογίσθηκε ο αριθμός των οικογενειών, η αφθονία τους και τρεις οικολογικοί δείκτες.

Για τον υπολογισμό της αφθονίας των οικογενειών χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης d του Margalef (1957):

$$d = \frac{S - 1}{\ln(N)}$$

,όπου: S = ο αριθμός των οικογενειών του δείγματος και N = ο αριθμός των ατόμων του δείγματος.

Για την εκτίμηση της ποικιλότητας χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ποικιλότητας H' των Shannon-Weaver (Shannon & Weaver 1949) που είναι ευρύτερης αποδοχής (Sanders 1968, Pielou 1969) και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \cdot \log_2 p_i$$

,όπου: p_i = η σχετική αφθονία μιας οικογένειας σε ένα συγκεκριμένο δείγμα μιας κοινότητας και s = ο αριθμός των οικογενειών του δείγματος.

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

,όπου: n_i = ο αριθμός ατόμων της i οικογένειας, N = ο αριθμός ατόμων του δείγματος.

Ο δείκτης αυτός εξαρτάται όχι μόνο από τον αριθμό των ειδών και των ατόμων, αλλά και από την ομοιόμορφη κατανομή των ατόμων στα είδη (Sanders 1968). Ο δείκτης μεγαλώνει όσο αυξάνει ο αριθμός των ειδών και όσο πιο ομοιόμορφη γίνεται η εκπροσώπησή τους (Edwards *et al.* 1972), ενώ είναι σχετικά ανεξάρτητος από το μέγεθος και την επιφάνεια του δείγματος (Sanders 1968).

Για τον υπολογισμό της ομοιόμορφης κατανομής των ατόμων ανάμεσα στα είδη χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης ομοιομορφίας J' (Pielou 1969):

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}} = \frac{H'}{H' \log_2 S}$$

όπου: H' = η ποικιλότητα όπως υπολογίστηκε από τον τύπο των Shannon-Wiener και H'_{max} = η θεωρητική μέγιστη τιμή του H' την οποία θα είχε το δείγμα, αν τα άτομα ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένα μεταξύ των ειδών.

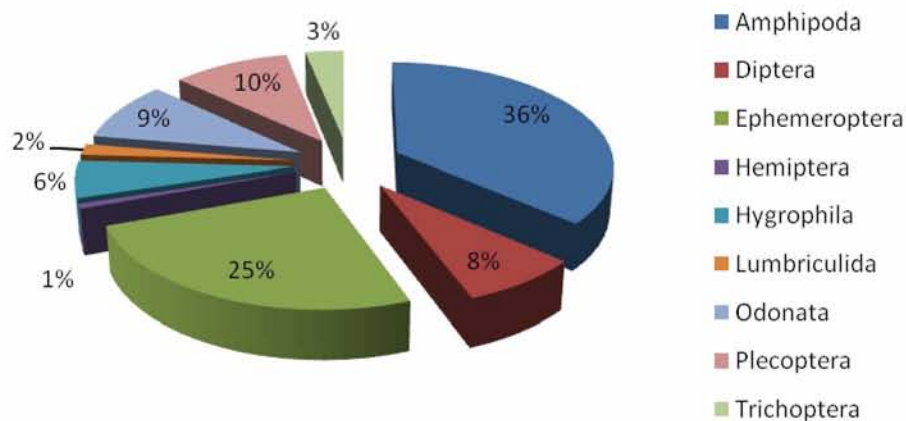
Για να μειωθεί το δυνατό σφάλμα από τις μεγάλες διαφορές της αφθονίας μεταξύ των επικρατέστερων και των σπάνιων ειδών έγινε μετατροπή των τιμών της αφθονίας με τη βοήθεια της τετραγωνικής ρίζας (Field *et al.* 1982). Για τον προσδιορισμό των μακροασπονδύλων που ευθύνονται για την ανομοιότητα μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών της περιοχής έρευνας έγινε η ανάλυση του ποσοστού ομοιότητας των οικογενειών μεταξύ των δειγμάτων (SIMPER) (Clarke & Gorley 2001). Στη συνέχεια με τη βοήθεια του δείκτη ομοιότητας των Bray & Curtis (1957), έγινε η ανάλυση ομοιότητας της σύστασης των μακροασπονδύλων μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών (ANOSIM) (Field *et al.* 1982). Ακολούθησε η απεικόνιση, ομαδοποίηση και ιεράρχηση του βαθμού συγγένειας όλων των σταθμών, καθώς και των επικρατέστερων ειδών με την κατασκευή δενδρογραμμάτων. Για τη

δισδιάστατη απεικόνιση των χωρικών και χρονικών διαφορών στη σύνθεση των ειδών στους σταθμούς που ερευνήθηκαν κατασκευάστηκε διάγραμμα πολυδιάστατης διάταξης (MDS) (Field *et al.* 1982). Επίσης κατασκευάστηκε διάγραμμα αθροιστικής κυριαρχίας των ειδών (K-dominance plot). Όλοι οι υπολογισμοί έγιναν με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος PRIMER (v. 5.1.2).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Αποτελέσματα δειγματοληψιών

Συνολικά, στις δύο περιοχές (Βρύχωνα και Ενιπέα) που μελετήθηκαν συλλέχθηκαν και αναγνωρίστηκαν 531 άτομα, τα οποία ανήκουν σε 24 οικογένειες βενθικών μακροασπόνδυλων. Από αυτές, μια οικογένεια ανήκει στους ολιγόχαιτους, μια στα γαστερόποδα, και μία στα αμφίποδα καρκινοειδή. Τέσσερις οικογένειες ανήκουν στην τάξη των Εφημεροπτέρων, τρεις στην τάξη των Οδοντόγναθων, μια οικογένεια στα Πλεκόπτερα, μια στα Ημίπτερα, πέντε στα Δίπτερα και επτά στα Τριχόπτερα. Η πιο πολυπληθής ταξινομική ομάδα ήταν τα έντομα με συνολικά 21 οικογένειες. Πιο πλούσια σε αφθονία τάξη ήταν αυτή των Εφημερόπτερων με συνολικά 134 (25%) άτομα. Ακολούθησε η τάξη των Πλεκοπτέρων με 53 (10%) άτομα και των Οδοντόγναθων με 49 (9%) άτομα (Σχ. 3.1).



Σχήμα 3.1 : Συνολικό ποσοστό της κάθε τάξης βενθικών μακροασπόνδυλων που συλλέχθηκαν από τα ποτάμια Βρύχωνα και Ενιπέα που μελετήθηκαν (Ιούνιος και Οκτώβριος 2014).

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται όλες οι οικογένειες που αναγνωρίστηκαν σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας για κάθε εποχή, ενώ στη δεύτερη στήλη παρουσιάζεται η ταξινομική ομάδα στην οποία ανήκουν.

Πίνακας 3.1: Οικογένειες βενθικών μακροασπόνδυλων που συλλέχτηκαν από τα ποτάμια Βρύχωνα και Ενιπέα (Ιούνιος και Οκτώβριος 2014) (T: Trichoptera, P: Plecoptera, O: Odonata, H: Hemiptera, E: Ephemeroptera, D: Diptera, OL: Oligocheta, G: Gasteropoda, A: Amphipoda)

Glossosomatidae	T	Baetidae	E
Hydropsychidae	T	Caenidae	E
Psychomyiidae	T	Ephemeridae	E
Limnephilidae	T	Heptageniidae	E
Odontoceridae	T	Athericidae	D
Polycentropodidae	T	Chironomidae	D
Philopotamidae	T	Dolichopodidae	D
Leuctridae	P	Limonidae	D
Aeshnidae	O	Tipulidae	D
Calopterygidae	O	Lumbriculidae	OL
Gomphidae	O	Lymnaeidae	G
Gerridae	H	Gammaridae	A

3.2 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά

3.2.1 Βρύχωνα

Η θερμοκρασία του νερού διαφοροποιήθηκε σύμφωνα με την εποχικότητα και στους δυο σταθμούς δειγματοληψίας στο ρέμα του Βρύχωνα. Στο σταθμό Καραμάνη το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο και η αγωγιμότητα ήταν αυξημένα κατά την περίοδο υψηλής ροής (Φθινόπωρο). Σε αντίθεση με το σταθμό Σερβανάτες όπου η αγωγιμότητα ήταν πιο υψηλή κατά την περίοδο χαμηλής ροής (Καλοκαίρι). Το pH ήταν αλκαλικό και για τις δυο εποχές και στους δυο σταθμούς δειγματοληψίας. Η παρουσίαση των τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων φαίνεται στους Πίνακες 3.2-3.3.

Πίνακας 3.2. Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του νερού στο σταθμό Καραμάνη στο ρέμα Βρύχωνα και για τις δυο εποχές.

ΚΑΡΑΜΑΝΗ		
	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
T (°C)	16.7	11.5
D.O. (mg/l)	8.9	9.8
Αγωγιμότητα (μS)	329	445
pH	8.2	7.3
Νιτρικά (mg/l)	5.72	10.12
Φωσφορικά (mg/l)	0.040	0.023

Πίνακας 3.3. Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του νερού στο σταθμό Σερβανάτες στο ρέμα Βρύχωνα και για τις δυο εποχές.

ΣΕΡΒΑΝΑΤΕΣ		
	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
T (°C)	21	10,1
D.O. (mg/l)	6,3	8,3
Αγωγιμότητα (μS)	497	406
pH	7,9	6,8
Νιτρικά (mg/l)	7,48	10,56
Φωσφορικά (mg/l)	0.058	0.046

3.2.2 Ενιπέας

Η θερμοκρασία του νερού διαφοροποιήθηκε σύμφωνα με την εποχικότητα και στους δυο σταθμούς δειγματοληψίας στον ποταμό Ενιπέα. Στο σταθμό Ανάβρα το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο και η αγωγιμότητα ήταν αυξημένα κατά την περίοδο υψηλής ροής (Φθινόπωρο). Σε αντίθεση με το σταθμό Καστράκι όπου το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο διατηρήθηκε σε χαμηλές τιμές. Το pH ήταν αλκαλικό και για τις δυο εποχές και στους δυο σταθμούς δειγματοληψίας. Η παρουσίαση των τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων φαίνεται στους Πίνακες 3.4-3.5.

Πίνακας 3.4. Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του νερού στο σταθμό Ανάβρα του ποταμού Ενιπέα και για τις δυο εποχές.

ΑΝΑΒΡΑ		
	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
T (°C)	14,8	10,6
D.O. (mg/l)	9,24	9,98
Αγωγιμότητα (μS)	296	389
pH	7,7	7,7
Νιτρικά (mg/l)	7,48	13,64
Φωσφορικά (mg/l)	0.039	0.046

Πίνακας 3.5. Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του νερού στο σταθμό Καστράκι του ποταμού Ενιπέα και για τις δυο εποχές.

ΚΑΣΤΡΑΚΙ		
	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
T (°C)	23,1	15,5
D.O. (mg/l)	5,9	7,2
Αγωγιμότητα (μS)	571	586
pH	7,2	7,5
Νιτρικά (mg/l)	18,04	21,19
Φωσφορικά (mg/l)	0,046	0,069

3.3. Αφθονία βενθικών μακροασπονδύλων

3.3.1 Βρύχωνας

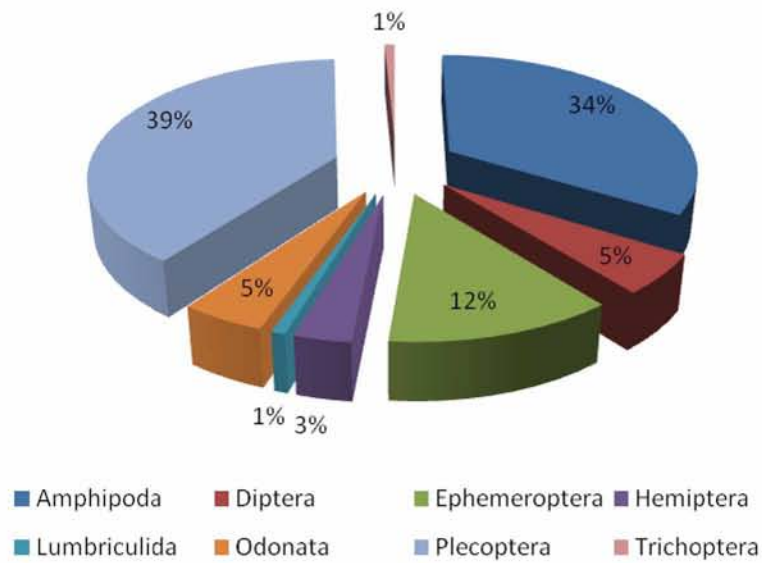
Συνολικά στο Βρύχωνα, για τις δυο θέσεις δειγματοληψίας και τις δυο εποχές συλλέχθηκαν και αναγνωρίστηκαν 386 βενθικά μακροασπόνδυλα. Το καλοκαίρι στη θέση Καραμάνη, ο αριθμός των ατόμων που συλλέχθηκαν ανήλθε στα 130 με πολυπληθέστερη την τάξη των Πλεκόπτερων (39%), ενώ ακολούθησαν τα αμφίποδα (34%) καρκινοειδή και τα Εφημερόπτερα (12%). Αντίστοιχα, το Φθινόπωρο στην ίδια θέση δειγματοληψίας συλλέχθηκαν 128 άτομα. Η τάξη με τη μεγαλύτερη αφθονία ήταν τα αμφίποδα καρκινοειδή (59%) ενώ ακολούθησαν οι τάξεις των Εφημερόπτερων (34%) και των Δίπτερων (4%). Στη θέση Σερβανάτες συλλέχθηκαν συνολικά 128 άτομα εκ των οποίων τα 56 συλλέχθηκαν το Καλοκαίρι με κυρίαρχη τάξη τα Δίπτερα (29%) ενώ η κυρίαρχη τάξη το Φθινόπωρο ήταν τα Εφημερόπτερα με 72 (60%) άτομα. . Οι αφθονίες των τάξεων των μακροασπονδύλων που συλλέχθηκαν στον Βρύχωνα για κάθε σταθμό δειγματοληψίας παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.6 και 3.7 και ακολουθεί σχηματική απεικόνιση για κάθε σταθμό ανά την εποχή (Σχ. 3.2-3.5)

Πίνακας 3.6: Η συνολική σύνθεση και κατανομή των μακροασπονδύλων στο σημείο δειγματοληψίας Καραμάνη στο ρεύμα Βρύχωνα

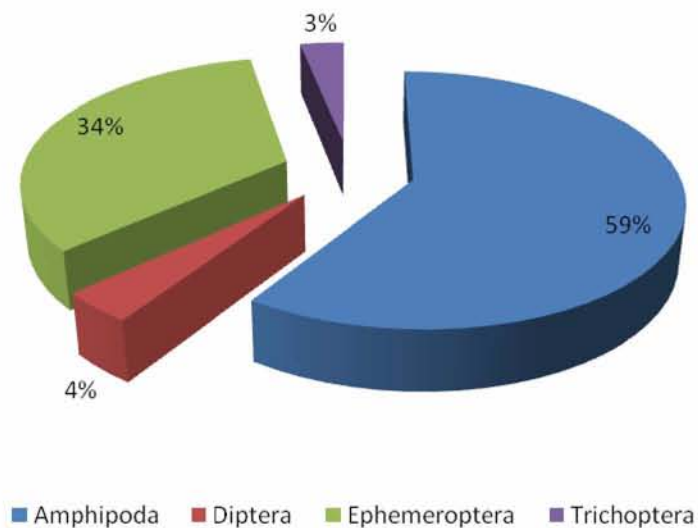
ΚΑΡΑΜΑΝΗ					
				Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
ΦΥΛΛΟ	ΚΛΑΣΗ	ΤΑΞΗ	ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	ΑΦΘΟΝΙΑ	
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	1	-
Mollusca	Gastropoda	Hygrophila	Lymnaeidae	-	-
Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Gammaridae	44	76
Arthropoda	Insecta	Diptera	Athericidae	1	-
			Chironomidae	6	4
			Dolichopodidae	-	-
			Limonidae	-	-
			Tipulidae	-	1
		Ephemeroptera	Baetidae	2	28
			Caenidae	7	-
			Ephemeridae	7	-
			Heptageniidae	-	15
		Plecoptera	Leuctridae	51	-
		Trichoptera	Glossosomatidae	-	1
			Hydropsychidae	-	1
			Limnephilidae	-	-
			Odontoceridae	-	1
			Philopotamidae	-	-
			Polycentropodidae	1	1
			Psychomyiidae	-	-
		Odonata	Aeshnidae	1	-
			Calopterygidae	-	-
			Gomphidae	5	-
		Hemiptera	Gerridae	4	-

Πίνακας 3.7: Η συνολική σύνθεση και την κατανομή των μακροασπονδύλων στο σημείο δειγματοληψίας Σερβανάτες στο ρεύμα Βρύχωνα

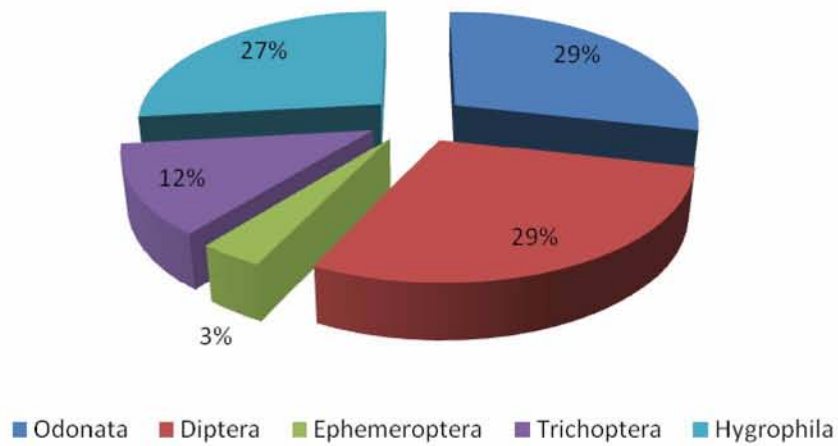
ΣΕΡΒΑΝΑΤΕΣ					
				Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
ΦΥΛΛΟ	ΚΛΑΣΗ	ΤΑΞΗ	ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	ΑΦΘΟΝΙΑ	
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	-	1
Mollusca	Gastropoda	Hygrophila	Lymnaeidae	15	14
Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Gammaridae	-	-
Arthropoda	Insecta	Diptera	Athericidae	11	-
			Chironomidae	1	3
			Dolichopodidae	-	-
			Limonidae	-	1
			Tipulidae	4	-
		Ephemeroptera	Baetidae	1	4
			Caenidae	-	-
			Ephemeridae	1	39
			Heptageniidae	-	-
		Plecoptera	Leuctridae	-	-
		Trichoptera	Glossosomatidae	-	-
			Hydropsychidae	-	-
			Limnephilidae	2	-
			Odontoceridae	-	-
			Philopotamidae	-	-
			Polycentropodidae	1	2
			Psychomyiidae	4	-
		Odonata	Aeshnidae	9	3
			Calopterygidae	3	1
			Gomphidae	4	4
		Hemiptera	Gerridae	-	-



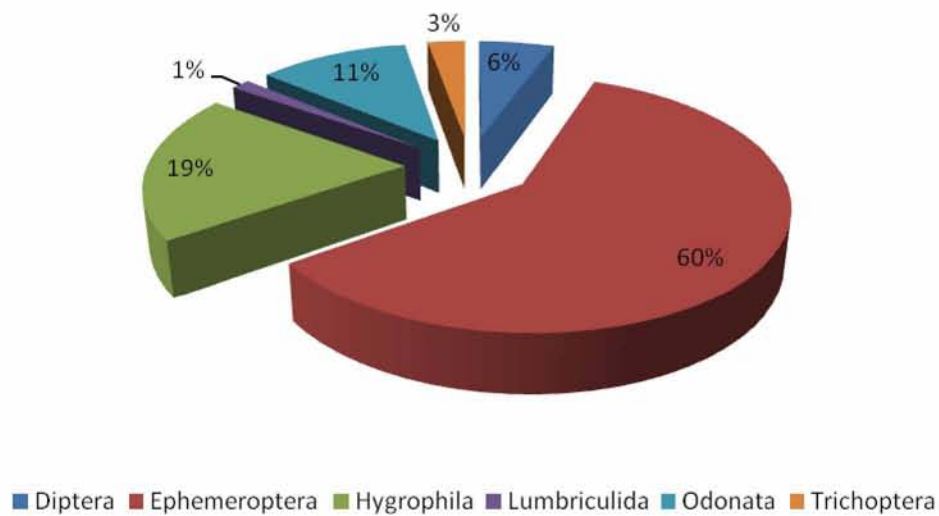
Σχήμα 3.2: Ποσοστιαία κατανομή των τάξεων της βενθοπανίδας στη θέση Καραμάνη στο ρέμα Βρύχωνα (Καλοκαίρι, 2014)



Σχήμα 3.3: Ποσοστιαία κατανομή των τάξεων της βενθοπανίδας στη θέση Καραμάνη στο ρέμα Βρύχωνα (Φθινόπωρο, 2014)



Σχήμα 3.4: Ποσοστιαία κατανομή των τάξεων της βενθοπανίδας στη θέση Σερβανάτες στο ρέμα Βρύχωνα (Καλοκαίρι, 2014)



Σχήμα 3.5: Ποσοστιαία κατανομή των τάξεων της βενθοπανίδας στη θέση Σερβανάτες στο ρέμα Βρύχωνα (Φθινόπωρο, 2014)

3.3.2 Ενιπέας

Συνολικά στον Ενιπέα, στις δυο θέσεις δειγματοληψίας και στις δυο εποχές συλλέχθηκαν και αναγνωρίστηκαν 145 βενθικά μακροασπόνδυλα. Το καλοκαίρι στη θέση Ανάβρα ο αριθμός των ατόμων ανήλθε στα 39 με πολυπληθέστερη την τάξη των αμφίποδων καρκινοειδών (87%). Αντίστοιχα, το Φθινόπωρο στην ίδια θέση δειγματοληψίας συλλέχθηκαν 34 άτομα. Η τάξη με τη μεγαλύτερη αφθονία ήταν τα αμφίποδα καρκινοειδή (59%).

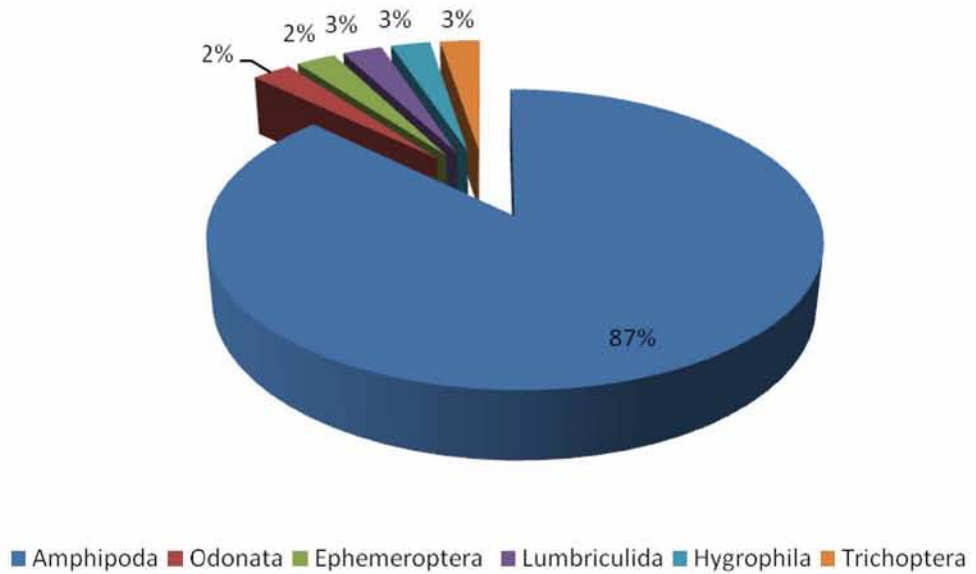
Στη θέση Καστράκι συνολικά συλλέχθηκαν 72 άτομα εκ των οποίων τα 30 πιάστηκαν το καλοκαίρι με κυρίαρχη τάξη τα Εφημερόπτερα (40%) ενώ το Φθινόπωρο πιάστηκαν 42 και κυρίαρχη τάξη ήταν τα αμφίποδα καρκινοειδή (45%). Η αφθονία των τάξεων βενθικών μακροασπονδύλων που συλλέχθηκαν στις θέσεις Ανάβρα και Καστράκι το καλοκαίρι και φθινόπωρο του 2014 παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.8 και 3.9 αντίστοιχα. Επίσης ακολουθεί σχηματική απεικόνιση για τον κάθε σταθμό και για κάθε εποχή Σχήμα 3.6-3.9.

Πίνακας 3.8: Η συνολική σύνθεση και την κατανομή των μακροασπονδύλων στο σημείο δειγματοληψίας Ανάβρα στον παραπόταμο Ενιπέα

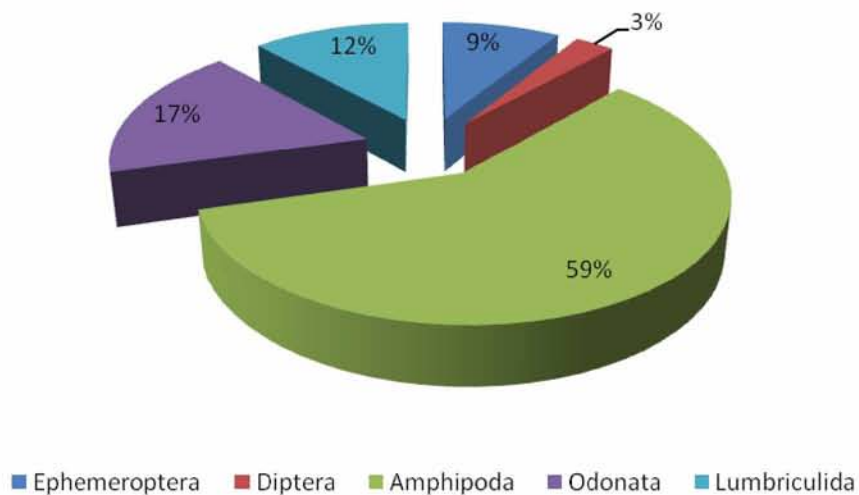
ΑΝΑΒΡΑ					
				Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
ΦΥΛΛΟ	ΚΛΑΣΗ	ΤΑΞΗ	ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	ΠΛΗΘΟΣ	
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	1	4
Mollusca	Gastropoda	Hygrophila	Lymnaeidae	1	-
Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Gammaridae	34	20
Arthropoda	Insecta	Diptera	Athericidae	-	-
			Chironomidae	-	-
			Dolichopodidae	-	1
			Limonidae	-	-
			Tipulidae	-	-
		Ephemeroptera	Baetidae	-	3
			Caenidae	-	-
			Ephemeridae	-	-
			Heptageniidae	1	-
		Plecoptera	Leuctridae	-	-
		Trichoptera	Glossosomatidae	-	-
			Hydropsychidae	-	-
			Limnephilidae	-	-
			Odontoceridae	-	-
			Philopotamidae	-	-
			Polycentropodidae	1	-
			Psychomyiidae	-	-
		Odonata	Aeshnidae	-	-
			Calopterygidae	-	-
			Gomphidae	1	6
		Hemiptera	Gerridae	-	-

Πίνακας 3.9 : Η συνολική σύνθεση και την κατανομή των μακροασπονδύλων στο σημείο δειγματοληψίας Καστράκι στον παραπόταμο Ενιπέα

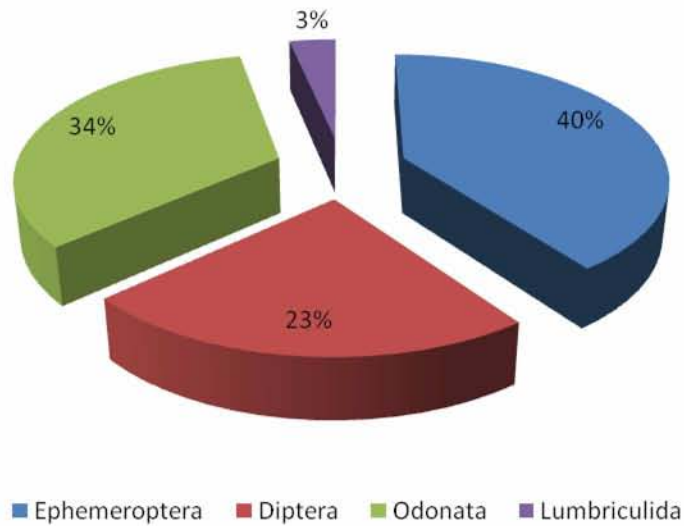
ΚΑΣΤΡΑΚΙ					
				Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
ΦΥΛΛΟ	ΚΛΑΣΗ	ΤΑΞΗ	ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	ΠΑΛΗΘΟΣ	
Annelida	Oligochaeta	Lumbriculida	Lumbriculidae	1	1
Mollusca	Gastropoda	Hygrophila	Lymnaeidae	-	-
Arthropoda	Crustacea	Amphipoda	Gammaridae	-	19
Arthropoda	Insecta	Diptera	Athericidae	-	-
			Chironomidae	7	1
			Dolichopodidae	-	-
			Limonidae	-	-
			Tipulidae	-	1
		Ephemeroptera	Baetidae	8	14
			Caenidae	1	-
			Ephemeridae	2	-
			Heptageniidae	1	-
		Plecoptera	Leuctridae	-	2
		Trichoptera	Glossosomatidae	-	-
			Hydropsychidae	-	-
			Limnephilidae	-	-
			Odontoceridae	-	-
			Philopotamidae	-	1
			Polycentropodidae	-	-
			Psychomyiidae	-	1
		Odonata	Aeshnidae	-	-
			Calopterygidae	-	-
			Gomphidae	10	2
		Hemiptera	Gerridae	-	-



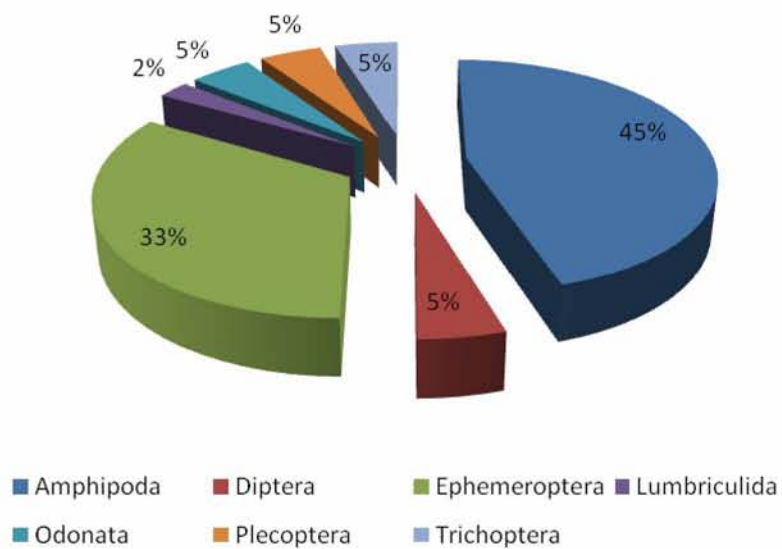
Σχήμα 3.6: Ποσοστιαία σύσταση των τάξεων της βενθοπανίδας στη θέση Ανάβρα του ποταμού Ενιπέα (Καλοκαίρι, 2014)



Σχήμα 3.7: Ποσοστιαία σύσταση των τάξεων της βενθοπανίδας στη θέση Ανάβρα του ποταμού Ενιπέα (Φθινόπωρο, 2014)



Σχήμα 3.8: Ποσοστιαία σύσταση των τάξεων της βενθοπανίδας στη θέση Καστράκι του ποταμού Ενιπέα (Καλοκαίρι, 2014)



Σχήμα 3.9: Ποσοστιαία σύσταση των τάξεων της βενθοπανίδας στη θέση Καστράκι του ποταμού Ενιπέα (Φθινόπωρο, 2014)

3.4. Υπολογισμός βιολογικών δεικτών και εκτίμηση της ποιότητας των υδάτων

3.4.1 Βρύχωνας

Οι τιμές των βιολογικών δεικτών ETBI, BBI, BMWP, ASPT, IBMWP, IASPT του Ελληνικού Βιοτικού Δείκτη και του βιοδείκτη Hellenic Evaluation Score που υπολογίστηκαν το καλοκαίρι και το φθινόπωρο του 2014 παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.10 και 3.11. Επιπλέον, στον πίνακα αυτό αναφέρεται η κλάση ποιότητας στην οποία κατατάχθηκαν τα νερά στη συγκεκριμένη θέση δειγματοληψίας για κάθε βιολογικό δείκτη, μέθοδο δειγματοληψίας και εποχή.

Πίνακας 3.10: Υπολογισμός των βιοδεικτών ETBI, BMWP, ASPT, IBMWP, IASPT, BBI, EBA και HES καθώς και της ποιότητας των υδάτων στη θέση Καραμάνη του ρέματος Βρύχωνα για κάθε εποχή

		ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ
ETBI	Τιμή Βιοδείκτη	7	7
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ
BBI	Τιμή Βιοδείκτη	8	7
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ
BMWP	Τιμή Βιοδείκτη	68	49
	Ποιότητα Υδάτων	ΜΕΤΡΙΑ	ΚΑΚΗ
ASPT	Τιμή Βιοδείκτη	6,2	6,1
	Ποιότητα Υδάτων	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ
IBMWP	Τιμή Βιοδείκτη	73	57
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ
IASPT	Τιμή Βιοδείκτη	6,1	6,3
	Ποιότητα Υδάτων	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ
EBA	Τιμή Βιοδείκτη	73	57
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ
HES	Τιμή Βιοδείκτη	706	450
	Ποιότητα Υδάτων	ΜΕΤΡΙΑ	ΜΕΤΡΙΑ

Πίνακας 3.11: Υπολογισμός των βιοδεικτών ETBI, BMWP, ASPT, IBMWP, IASPT, BBI, EBA και HES καθώς και της ποιότητας των υδάτων στη θέση Σερβανάτες του ρέματος Βρύχωνα για κάθε εποχή

		ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ
ETBI	Τιμή Βιοδείκτη	6	7
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ
BBI	Τιμή Βιοδείκτη	8	6
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΛΗ	METΡΙΑ
BMWP	Τιμή Βιοδείκτη	62	43
	Ποιότητα Υδάτων	METΡΙΑ	ΚΑΚΗ
ASPT	Τιμή Βιοδείκτη	6,2	5,4
	Ποιότητα Υδάτων	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ
IBMWP	Τιμή Βιοδείκτη	80	55
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ
IASPT	Τιμή Βιοδείκτη	6,7	5,2
	Ποιότητα Υδάτων	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ
EBA	Τιμή Βιοδείκτη	80	55
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΛΗ	METΡΙΑ
HES	Τιμή Βιοδείκτη	735	517
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΛΗ	METΡΙΑ

3.4.2 Ενιπέας

Οι τιμές των βιολογικών δεικτών ETBI, BBI, BMWP, ASPT, IBMWP, IASPT, του Ελληνικού Βιοτικού Δείκτη και του βιοδείκτη Hellenic Evaluation Score που υπολογίστηκαν το Καλοκαίρι και το Φθινόπωρο του 2014 παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.12 και 3.13. Επιπλέον, στον παρακάτω πίνακα αναφέρεται η κλάση ποιότητας στην οποία κατατάχθηκαν τα νερά στη συγκεκριμένη θέση δειγματοληψίας για κάθε βιολογικό δείκτη, μέθοδο δειγματοληψίας και εποχή.

Πίνακας 3.12: Υπολογισμός των βιοδεικτών ETBI, BMWP, ASPT, IBMWP, IASPT BBI, EBA και HES καθώς και της ποιότητας των υδάτων στη θέση Ανάβρα του ποταμού Ενιπέα για κάθε εποχή

		ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ
ETBI	Τιμή Βιοδείκτη	6	4
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΚΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΚΗ
BBI	Τιμή Βιοδείκτη	5	4
	Ποιότητα Υδάτων	ΜΕΤΡΙΑ	ΚΑΚΗ
BMWP	Τιμή Βιοδείκτη	35	19
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΚΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΚΗ
ASPT	Τιμή Βιοδείκτη	5,8	4,8
	Ποιότητα Υδάτων	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ
IBMWP	Τιμή Βιοδείκτη	35	23
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ
IASPT	Τιμή Βιοδείκτη	5,8	4,6
	Ποιότητα Υδάτων	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ
EBA	Τιμή Βιοδείκτη	35	23
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ
HES	Τιμή Βιοδείκτη	326	233
	Ποιότητα Υδάτων	ΜΕΤΡΙΑ	ΚΑΚΗ

Πίνακας 3.13: Υπολογισμός των βιοδεικτών ETBI, BMWP, ASPT, IBMWP, IASPT, BBI, EBA και HES καθώς και της ποιότητας των υδάτων στη θέση Καστράκι του ποταμού Ενιπέα για κάθε εποχή

		ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ
ETBI	Τιμή Βιοδείκτη	5	7
	Ποιότητα Υδάτων	ΠΟΛΥ ΚΑΚΗ	ΚΑΚΗ
BBI	Τιμή Βιοδείκτη	6	7
	Ποιότητα Υδάτων	ΜΕΤΡΙΑ	ΚΑΛΗ
BMWP	Τιμή Βιοδείκτη	41	52
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΚΗ	ΜΕΤΡΙΑ
ASPT	Τιμή Βιοδείκτη	6,8	5,8
	Ποιότητα Υδάτων	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ
IBMWP	Τιμή Βιοδείκτη	38	48
	Ποιότητα Υδάτων	ΜΕΤΡΙΑ	ΜΕΤΡΙΑ
IASPT	Τιμή Βιοδείκτη	6,3	5,3
	Ποιότητα Υδάτων	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ
EBA	Τιμή Βιοδείκτη	38	52
	Ποιότητα Υδάτων	ΜΕΤΡΙΑ	ΜΕΤΡΙΑ
HES	Τιμή Βιοδείκτη	318	494
	Ποιότητα Υδάτων	ΚΑΚΗ	ΜΕΤΡΙΑ

3.5 Στατιστική ανάλυση

3.5.1 Βρύχωνας

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πακέτο primer (v. 5.1.2). Για να μειωθεί το δυνατό σφάλμα από τις μεγάλες διαφορές της αφθονίας μεταξύ των επικρατέστερων και των σπάνιων οικογενειών έγινε μετατροπή των τιμών της αφθονίας με τη βοήθεια της τετραγωνικής ρίζας (Field *et al.* 1982).

Οι παράμετροι που εκτιμήθηκαν σε κάθε σταθμό είναι: ο αριθμός των οικογενειών (S), ο αριθμός των ατόμων (N), ο δείκτης αφθονίας των οικογενειών (d), ο δείκτης ομοιομορφίας (J') και ο δείκτης ποικιλότητας (H') όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.14.

Πίνακας 3.14: Εποχική διακύμανση των χαρακτηριστικών των μακροασπονδύλων στους σταθμούς δειγματοληψίας του ρέματος Βρύχωνα. (S1:Καραμάνι, S2: Σερβανατες)

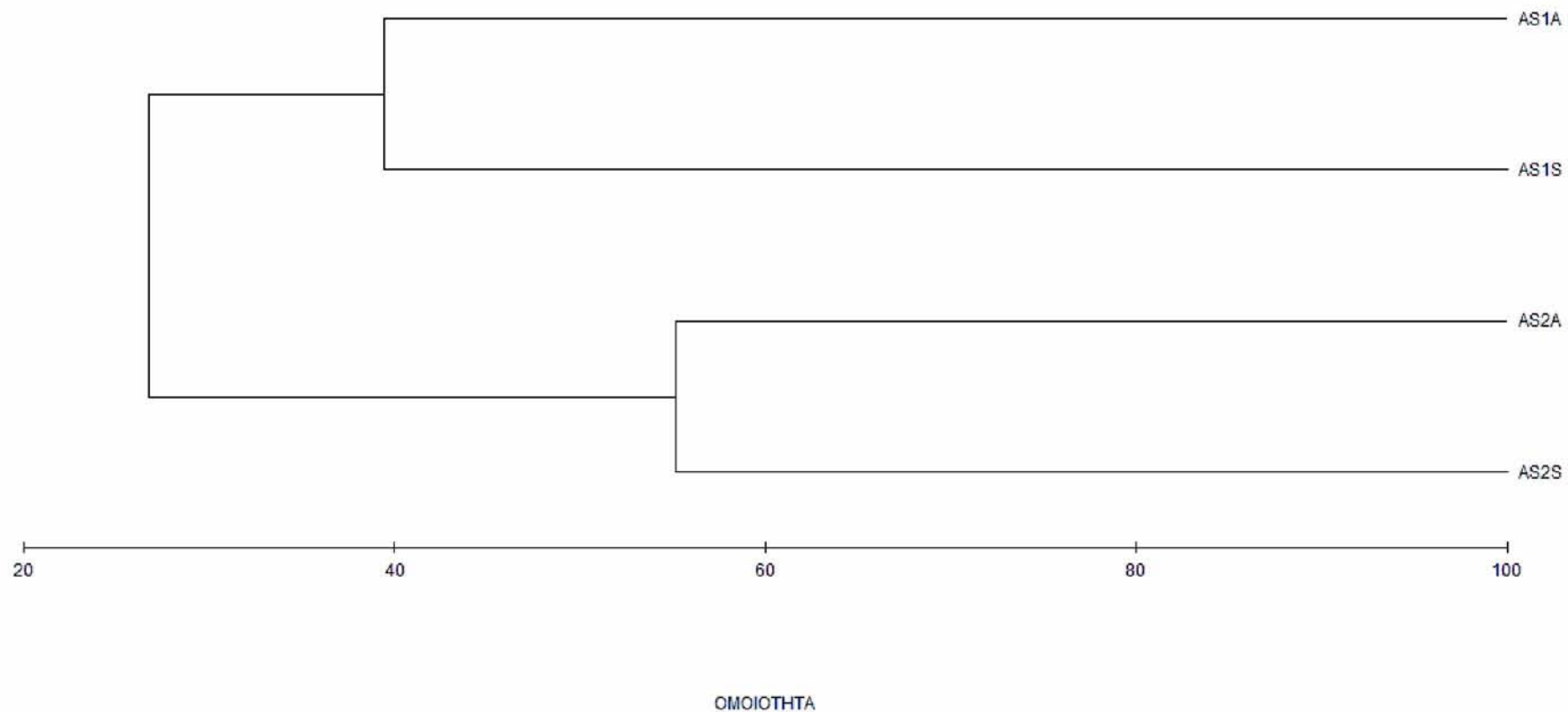
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ		ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	
	S1	S2	S1	S2
Αριθμός οικογενειών (s)	12	12	9	10
Αριθμός ατόμων (N)	130	56	128	72
Δείκτης αφθονίας οικογενειών (d)	2,26	2,73	1,65	2,10
Δείκτης ομοιομορφίας (J')	0,66	0,84	0,54	0,66
Δείκτης ποικιλότητας (H')	1,64	2,10	1,19	1,51

Στο Σχήμα 3.10 δίνεται το δενδρόγραμμα ομαδοποίησης των δειγματοληπτικών σταθμών της περιοχής έρευνας με βάση το βαθμό συγγένειας του μακροζωοβένθους στις δυο εποχές δειγματοληψίας.

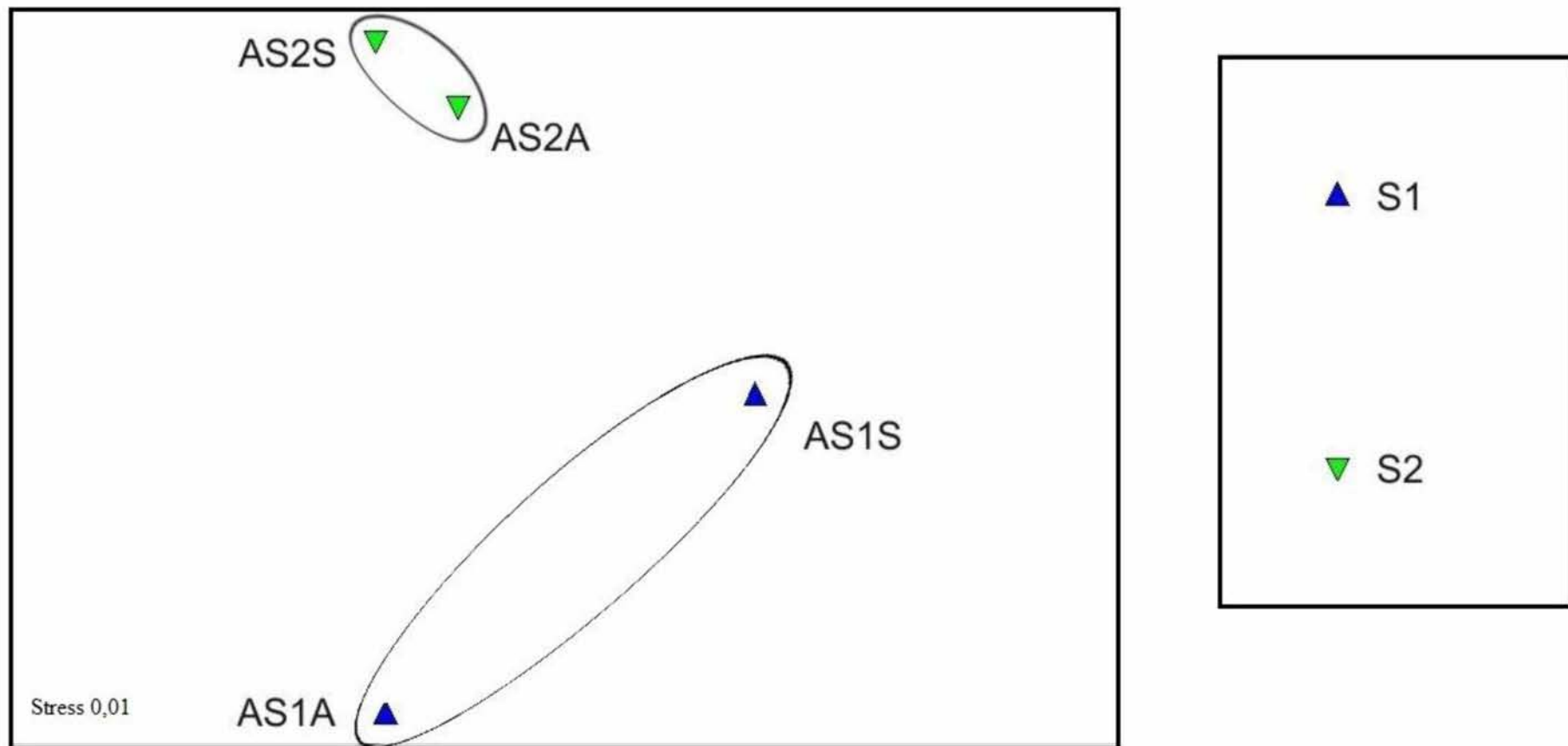
Στο Σχήμα 3.11 δίνεται το διάγραμμα πολυδιάστατης διάταξης (MDS) των δειγματοληπτικών σταθμών της περιοχής έρευνας με βάση το βαθμό συγγένειας του μακροζωοβένθους στις δυο εποχές δειγματοληψίας.

Στο Σχήμα 3.12 δίνεται το διάγραμμα αθροιστικής κυριαρχίας (K-dominance plot) των οικογενειών για τους σταθμούς S1 και S2.

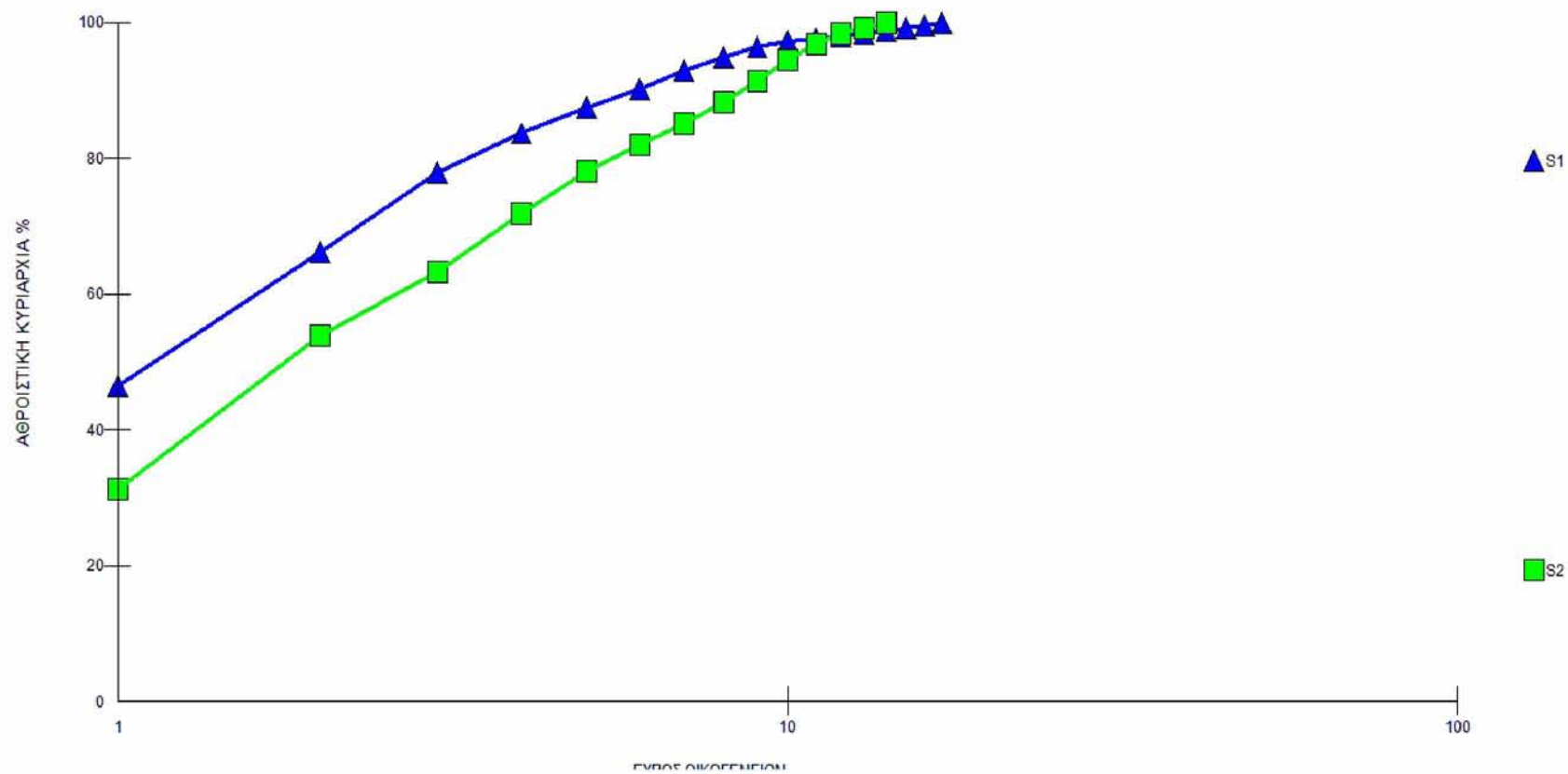
Στον Πίνακα 3.15 δίνεται η αφθονία (m^2) των κυριότερων οικογενειών που ευθύνονται για την ανομοιότητα μεταξύ των σταθμών S1 και S2, καθώς επίσης και το ποσοστό ανομοιότητας (%).



Σχήμα 3.10: Δενδρόγραμμα ομαδοποίησης (Bray-Curtis) των δειγματοληπτικών σταθμών της περιοχής έρευνας με βάση το βαθμό συγγένειας των μακροασπονδυλών κατά τη διάρκεια των δυο εποχών (A: Φθινοπώρο, S: Καλοκαίρι)



Σχήμα 3.11: Διάγραμμα πολυδιάστατης διάταξης (MDS) των δειγματοληπτικών σταθμών της περιοχής έρευνας με βάση το βαθμό συγγένειας των μακροασπονδύλων κατά τη διάρκεια των δυο εποχών (A: Φθινόπωρο, S: Καλοκαίρι), (S1: Καραμάνη, S2: Σερβανάτες). Οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν το ποσοστό ομοιότητας στους σταθμούς δειγματοληψίας



Σχήμα 3.12: Διάγραμμα αθροιστικής κυριαρχίας για τους σταθμούς S1 (Καραμάνη) και S2 (Σερβανάτες)

Πίνακας 3.15: Μέση αφθονία (m²) των κυριότερων μακροζωοβενθικών οικογενειών που ευθύνονται για την ανομοιότητα μεταξύ των σταθμών S1 και S2 με το ποσοστό ανομοιότητας (%).

ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	ΑΦΘΟΝΙΑ		ΑΝΟΜΟΙΟΤΗΤΑ%
	S1	S2	
			73,28
Gammaridae	240	0	15,35
Lymneidae	0	58	7,55
Leuctridae	102	0	6,64
Ephemeridae	14	80	6,31
Baetidae	60	10	4,45
Heptageniidae	30	0	4,8
Aeshnidae	2	24	3,74
Athericidae	2	22	3,25
Calopterigidae	0	8	2,7
Caenidae	14	0	2,46
Gomphidae	10	16	2,33
Tipulidae	2	8	1,97
Psychomyiidae	0	8	1,95
Gerridae	8	0	1,86
Chironomidae	20	8	1,66

Η ανάλυση ομοιότητας των μακροασπονδύλων (SIMPER) έδειξε ότι η ανομοιότητα στο σταθμό S1 φθάνει σε ποσοστό το 39,42% και στο σταθμό S2 το 55,9 %, ενώ μεταξύ των σταθμών S1 και S2 φθάνει σε ποσοστό το 73,28%.

Η ανάλυση ομοιότητας της σύστασης των οικογενειών (ANOSIM), έδειξε ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών (R: 0,75, P>0,05).

Από το δενδρόγραμμα ομαδοποίησης των σταθμών της περιοχής έρευνας, με βάση το βαθμό συγγένειας των μακροασπονδύλων προκύπτει ένας σαφής διαχωρισμός μεταξύ των δυο σταθμών κατά τη διάρκεια και των δυο εποχών. Το ποσοστό ομοιότητας για τον σταθμό S1 για τις δυο εποχές ανέρχεται στο 39,4% ενώ για το σταθμό S2 αντίστοιχα 55,2% .

Από το διάγραμμα πολυδιάστατης διάταξης (MDS) προκύπτουν ομάδες που σχετίζονται σαφώς με το βαθμό συγγένειας των μακροασπονδύλων. Η ομαδοποίηση των σταθμών έγινε με βάση το δενδρόγραμμα του Σχήματος 3.11. Προκύπτει ένας σαφής διαχωρισμός του σταθμού S1 από το σταθμό S2 κατά τη διάρκεια και των δυο εποχών (Σχ. 3.12).

3.5.2 Ενιπέας

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το στατιστικό πακέτο primer (v. 5.1.2). Όπως και στην περίπτωση του ρέματος Βρύχωνα, για να μειωθεί το δυνατό σφάλμα από τις μεγάλες διαφορές της αφθονίας μεταξύ των επικρατέστερων και των σπάνιων οικογενειών έγινε μετατροπή των τιμών της αφθονίας με τη βοήθεια της τετραγωνικής ρίζας (Field *et al.* 1982).

Οι παράμετροι που εκτιμήθηκαν σε κάθε σταθμό είναι: ο αριθμός των οικογενειών (S), ο αριθμός των ατόμων (N), ο δείκτης αφθονίας των οικογενειών (d), ο δείκτης ομοιομορφίας (J') και ο δείκτης ποικιλότητας (H') όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.16.

Πίνακας 3.16: Εποχική διακύμανση των χαρακτηριστικών των μακροασπονδύλων στο στους σταθμούς δειγματοληψίας του ποταμού Ενιπέα. (S1:Ανάβρα, S2:Καστράκι)

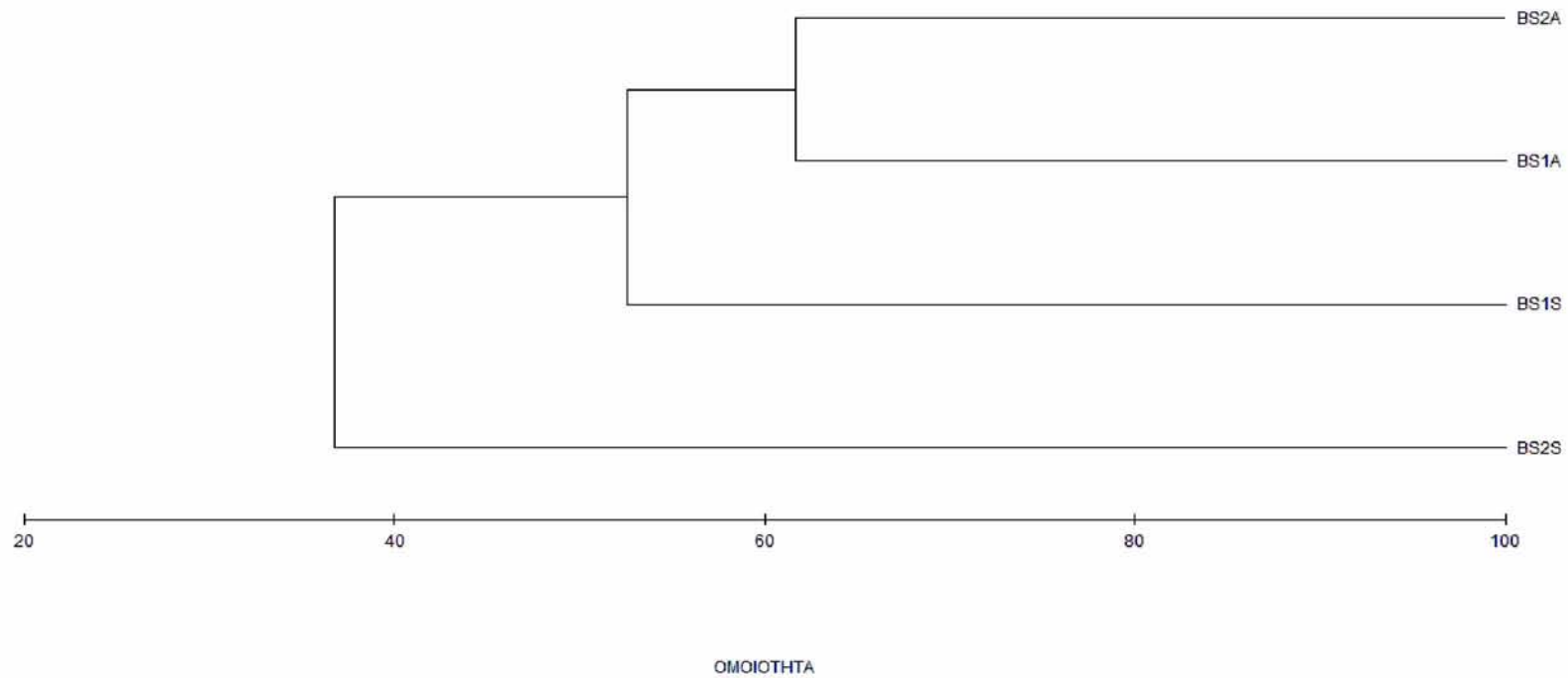
	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ		ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	S1	S2	S1	S2
Αριθμός οικογενειών (s)	6	7	5	9
Αριθμός ατόμων (N)	39	30	34	42
Δείκτης αφθονίας ειδών (d)	1,36	1,76	1,13	2,14
Δείκτης ομοιομορφίας (J')	0,33	0,81	0,74	0,66
Δείκτης ποικιλότητας (H')	0,59	1,58	1,19	1,46

Στο Σχήμα 3.13 δίνεται το δενδρόγραμμα ομαδοποίησης των δειγματοληπτικών σταθμών της περιοχής έρευνας με βάση το βαθμό συγγένειας του μακροζωοβένθους στις δυο εποχές δειγματοληψίας.

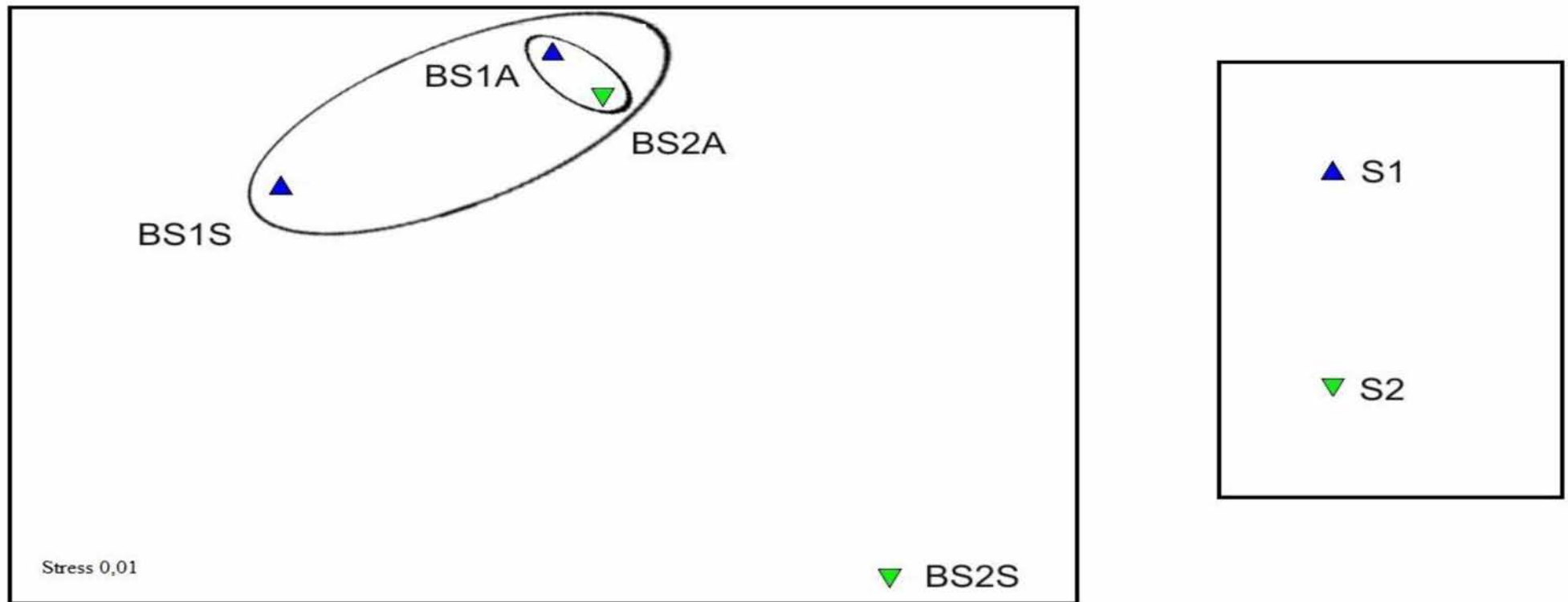
Στο Σχήμα 3.14 δίνεται το διάγραμμα πολυδιάστατης διάταξης (MDS) των δειγματοληπτικών σταθμών της περιοχής έρευνας με βάση το βαθμό συγγένειας του μακροζωοβένθους στις δυο εποχές δειγματοληψίας.

Στο Σχήμα 3.15 δίνεται το διάγραμμα αθροιστικής κυριαρχίας (K-dominance plot) των οικογενειών για τους σταθμούς S1 και S2.

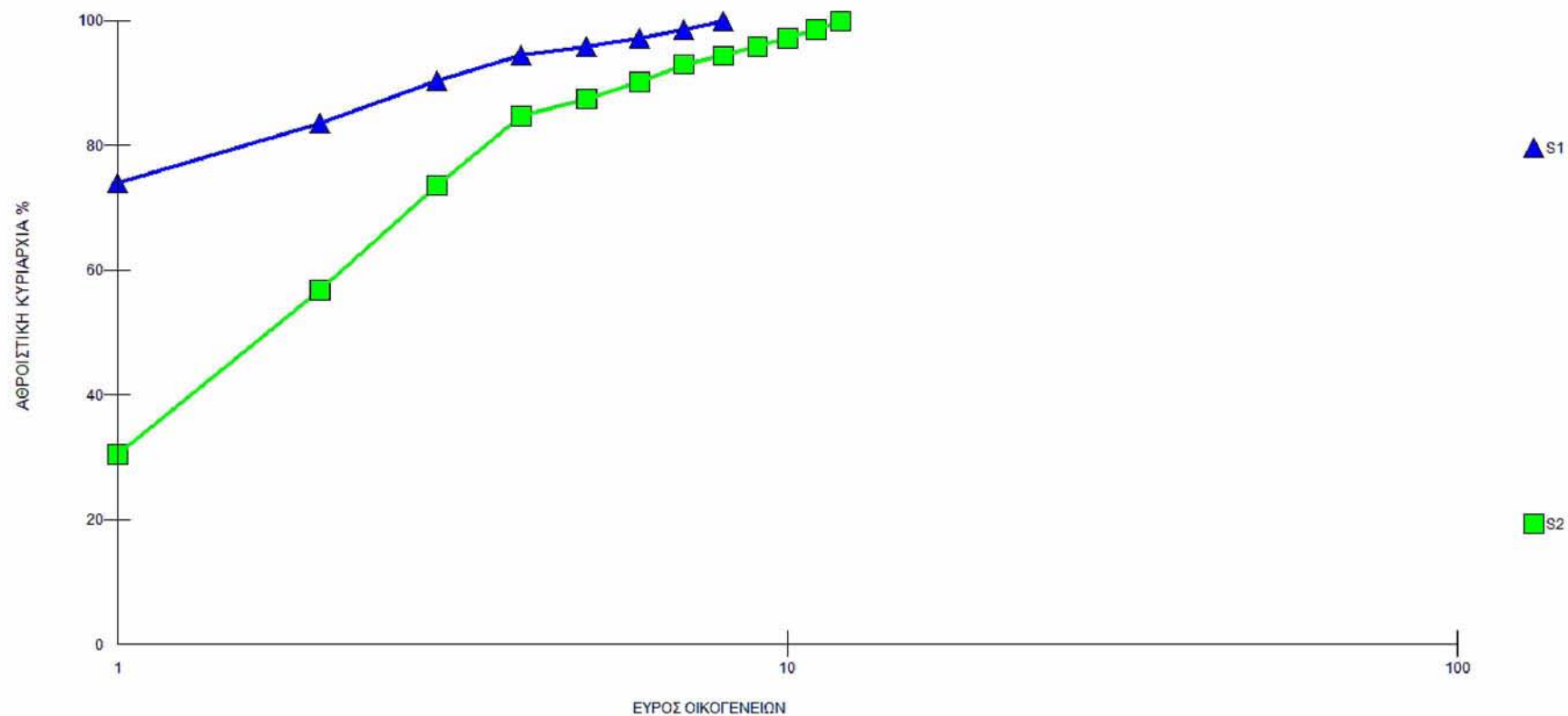
Στον Πίνακα 3.17 δίνεται η αφθονία (m^2) των κυριότερων οικογενειών που ευθύνονται για την ανομοιότητα μεταξύ των σταθμών S1 και S2, καθώς επίσης και το ποσοστό ανομοιότητας (%).



Σχήμα 3.13: Δενδρόγραμμα ομαδοποίησης (Bray-Curtis) των δειγματοληπτικών σταθμών της περιοχής έρευνας με βάση το βαθμό συγγένειας των μακροασπονδυλών κατά τη διάρκεια των δυο εποχών (A: Φθινοπώρο, S: Καλοκαίρι)



Σχήμα 3.14: Διάγραμμα πολυδιάστατης διάταξης (MDS) των δειγματοληπτικών σταθμών της περιοχής έρευνας με βάση το βαθμό συγγένειας των μακροασπονδύλων κατά τη διάρκεια των δυο εποχών (A: Φθινόπωρο, S: Καλοκαίρι), (S1: Ανάβρα, S2: Καστράκι). Οι κύκλοι αντιπροσωπεύουν το ποσοστό ομοιότητας των σταθμών δειγματοληψίας



Σχήμα 3.15: Διάγραμμα αθροιστικής κυριαρχίας για τους σταθμούς S1(Ανάβρα) και S2 (Καστράκι)

Πίνακας 3.17: Αφθονία (m²) των κυριότερων μακροζωοβενθικών ειδών που ευθύνονται για την ανομοιότητα μεταξύ των σταθμών S1 και S2 με το ποσοστό ανομοιότητας (%)

ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ	ΑΦΘΟΝΙΑ		ΑΝΟΜΟΙΟΤΗΤΑ%
	S1	S2	
			55,93
Gammaridae	108	38	12,11
Baetidae	6	44	9,39
Chironomidae	0	16	7,29
Gomphidae	14	24	4,31
Ephemeraidae	0	4	2,91
Leuctridae	0	4	2,60
Caenidae	0	2	2,06
Lymneidae	2	0	1,98
Polycentropodidae	2	0	1,98
Heptageniidae	2	2	1,95
Lumbriculidae	10	4	1,92
Dolichopodidae	2	0	1,92

Η ανάλυση ομοιότητας των μακροασπονδύλων (SIMPER) έδειξε ότι η ανομοιότητα στο σταθμό S1 φθάνει σε ποσοστό το 57,57 % και στο σταθμό S2 το 43,08 %, ενώ μεταξύ των σταθμών S1 και S2 φθάνει σε ποσοστό το 55,93 %, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.17.

Η ανάλυση ομοιότητας της σύστασης των οικογενειών (ANOSIM), έδειξε ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγματοληπτικών σταθμών (R: 0,25 , P>0,05).

Από το δενδρόγραμμα ομαδοποίησης των σταθμών της περιοχής έρευνας, με βάση το βαθμό συγγένειας των μακροασπονδύλων προκύπτει ένας σαφής διαχωρισμός μεταξύ των δυο εποχών. Το ποσοστό ομοιότητας και των δυο σταθμών

για το φθινόπωρο ανέρχεται στο 61,67 % ενώ και για τις δυο εποχές η ομοιότητα του σταθμού S1 στο 55,19% αντίστοιχα .

Από το διάγραμμα πολυδιάστατης διάταξης (MDS) προκύπτουν ομάδες που σχετίζονται σαφώς με το βαθμό συγγένειας των μακροασπονδύλων. Η ομαδοποίηση των σταθμών έγινε με βάση το δένδρόγραμμα του Σχήματος 3.13. Προκύπτει ένας σαφής διαχωρισμός του σταθμού S1 από το σταθμό S2 κατά τη διάρκεια και των δυο εποχών (Σχ. 3.14).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι μετρήσεις των φυσικοχημικών παραμέτρων είναι εντός των ορίων σύμφωνα με τα πρότυπα ποιότητας νερού της οδηγίας 98/83/EK. Σχεδόν σε όλους τους σταθμούς της παρούσας έρευνας το διαλυμένο στο νερό οξυγόνο ήταν σε υψηλά επίπεδα. Παρόμοια επίπεδα οξυγόνου παρατηρήθηκαν και στα ποτάμια της Χαλκιδικής (Lazaridou *et al.* 2004), όπως και στον ποταμό Αξίο και Αλιάκμονα (Lazaridou *et al.* 2000).

Το pH δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των σταθμών και των εποχών. Παρέμεινε καθ' όλη τη διάρκεια των δειγματοληψιών σε αλκαλικά επίπεδα. Το pH επηρεάζει πολλές φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο νερό, για παράδειγμα το όξινο pH εμποδίζει το σχηματισμό εξωσκελετού στα καρκινοειδή και κελύφους στα μαλάκια (Younos & Walker 2000), αυτό το φαινόμενο δεν παρατηρήθηκε στην παρούσα εργασία καθώς οι πληθυσμοί των καρκινοειδών κυριαρχούσαν στους περισσότερους σταθμούς δειγματοληψίας.

Τα νιτρικά και τα φωσφορικά ιόντα ήταν σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας εντός των ορίων που θεσπίζει η νομοθεσία. Η παρουσία τους δηλώνει ένα παραγωγικό περιβάλλον που διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στην επιβίωση και ανάπτυξη των βενθικών μακροασπονδύλων. Η υψηλότερη τιμή των νιτρικών που εμφανίζεται στο σταθμό Καστράκι στο ποταμό Ενιπέα πιθανώς να οφείλεται στη έντονη γεωργική δραστηριότητα. Κάτι που συνηγορεί με την βιβλιογραφία καθώς τα πεδινά τμήματα των ρεμάτων και των ποταμών υφίσταται την άμεση επίδραση των μέσων που χρησιμοποιούνται στις γεωργικές καλλιέργειες (λιπάσματα) (Τσακίρης 2013).

Τα βενθικά μακροασπόνδυλα που συλλέχτηκαν στους δυο σταθμούς στο ρέμα Βρύχωνα άνηκαν σε ευαίσθητες στη ρύπανση του νερού ταξινομικές ομάδες, όπως η

τάξη των Πλεκοπτέρων, των Εφημερόπτερων και των Τριχόπτερων. Το ίδιο παρατηρήθηκε και σε προηγούμενη εργασία για την ίδια περιοχή μελέτης (Rumbos & Kungolos 2013) αλλά και για διαφορετικές περιοχές, όπως αυτή της ανατολικής Χαλκιδικής (Lazaridou *et al.* 2004). Στα δείγματα της περιόδου υψηλής ροής (φθινόπωρο) κυρίαρχες τάξεις ήταν τα Εφημερόπτερα (πιο ευαίσθητα) και λιγότερο τα Δίπτερα (πιο ανθεκτικά), ενώ στην περίοδο χαμηλής ροής (καλοκαίρι) κυριάρχησαν τα Δίπτερα και λιγότερο τα Εφημερόπτερα. Ομοίως και στον ποταμό Αωό παρατηρήθηκε μεγάλη αφθονία των Εφημερόπτερων κατά την περίοδο υψηλής ροής (Χατζηνικολάου 2002), λόγω των υψηλών απαιτήσεων σε οξυγόνο.

Η μόνη ταξινομική ομάδα που εμφανίστηκε άφθονη κατά την περίοδο του καλοκαιριού και μόνο στη θέση Καραμάνη στον άνω ρου του ρέματος είναι αυτή των Πλεκόπτερων. Οι ταξινομικές ομάδες των Πλεκόπτερων και των Εφημερόπτερων βρέθηκαν επίσης και σε σταθμούς με μεγάλο υψόμετρο στον ποταμό Αλιάκμονα (Lazaridou-Dimitriadou *et al.* 2002).

Επίσης η οικογένεια των Gammaridae απαντάται στο σταθμό Καραμάνη σε μεγάλους πληθυσμούς και στις δυο εποχές. Η μεγάλη αφθονία των Gammaridae, καθ'όλη τη διάρκεια του έτους επιβεβαιώνεται και από μια ακόμη έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε μικρά ρέματα στην Πορτογαλία (Graca *et al.* 1994). Η οικογένεια αυτή προτιμά τα ψηλά τμήματα των ρεμάτων και αναπαράγεται από τις αρχές της άνοιξης ως τα μέσα φθινοπώρου (Adams *et al.* 1987)

Όσον αφορά τις δυο θέσεις δειγματοληψίας στον ποταμό Ενιπέα κυριάρχησε η οικογένεια Gammaridae με το μεγαλύτερο ποσοστό να εμφανίζεται στη θέση Ανάβρα και ακολούθησαν οι τάξεις των Εφεμεροπτέρων και των Οδοντόγναθων.

Τα Πλεκόπτερα απουσίαζαν από την ορεινή θέση Ανάβρα. Πιθανός παράγοντας που μπορεί να επηρέασε την κατανομή των βενθικών μακροασπονδύλων είναι η ύπαρξη πηγαίου νερού στη θέση Ανάβρα καθώς ο σταθμός δειγματοληψίας βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από την πηγή. Η μεγάλη χρονική σταθερότητα και η μικρή διακύμανση των τιμών των φυσικοχημικών μεταβλητών συνέβαλε στην υποστήριξη μιας βενθοκοινωνίας με μικρό αριθμό ταξινομικών μονάδων αλλά με σταθερή παρουσία των περισσότερων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αναφέρεται χαρακτηριστικά σε μια έρευνα για το ρέμα Βοϊράνης και συγκεκριμένα για το σταθμό Σ1 ο οποίος απέχει 50 μετρά από την πηγή (Γιαννάκου 2000).

Στη θέση Καστράκι το μεγαλύτερο ποσοστό αφθονίας καταλαμβάνει η τάξη των Εφημερόπτερων με αντιπροσωπευτικές οικογένειες ανθεκτικές στη ρύπανση, όπως αυτή των Baetidae, οι οποίες αξιολογούνται με χαμηλή βαθμολογία στους βιοτικούς δείκτες. Επίσης προστέθηκε και η τάξη των Δίπτερων που απουσίαζε από την θέση Ανάβρα. Η εμφάνιση ατόμων του γένους *Chironomus* αποτελούν δείκτες ρύπανσης καθώς μπορούν να επιβιώσουν ακόμη και σε περιβάλλοντα με χαμηλό οξυγόνο και υψηλό οργανικό φορτίο (Bellman 1991). Σύμφωνα με τους Tate & Heiny (1995) άτομα αυτής της ομάδας έχουν βρεθεί μετά από πηγή ρύπανσης η οποία μπορεί να προέρχεται από εκπλύματα γεωργικών περιοχών.

Στην παρούσα εργασία υπολογίστηκαν 6 βιοτικοί δείκτες, οι 4 από αυτούς ανήκουν στους Ευρωπαϊκούς, ενώ δυο ανήκουν στους Ελληνικούς. Η εφαρμογή διαφορετικών βιοτικών δεικτών, που μπορεί να έχουν σχεδιαστεί για διαφορετικά ενδιαυτήματα και οικοσυστήματα συχνά οδηγεί σε αντιφατικά αποτελέσματα. Στην παρούσα μελέτη αυτό επιβεβαιώθηκε καθώς σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρήθηκε σοβαρή διαφωνία μεταξύ των βιοτικών δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν. Παρόμοια διαφωνία μεταξύ βιοδεικτών παρατηρήθηκε και σε μια έρευνα που

πραγματοποιήθηκε στην Πελοπόννησο, στους ποταμούς Πηνειό και Αλφειό (Πιορουλίου *et al.* 2003), όπου οι δείκτες σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους ομαδοποιήθηκαν σε δυο ομάδες. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων ο BBI ήταν σύμφωνος με τον IBE με εξαίρεση κάποιες δειγματοληψίες.

Η εφαρμογή των ευρωπαϊκών βιοτικών δεικτών έχει αποδειχθεί ότι δεν είναι πάντα αποτελεσματική πρακτική στην εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης των υδάτων στην Ελλάδα, καθώς δεν περιλαμβάνουν ορισμένες ταξινομικές ομάδες που απαντώνται στα ελληνικά ύδατα (Lazaridou- Dimitriadou *et al.* 2004).

Επιπλέον, ορισμένοι δείκτες όπως οι βιοδείκτες TBI και ETBI, δεν είναι σε θέση να εκτιμήσουν κατάλληλα τις διαφορές μεταξύ των περιοχών με διαφορετικό βαθμό ρύπανσης. Οι δείκτες αυτοί βασίζονται μόνο στην παρουσία ή την απουσία συγκεκριμένων ειδών από τη βιοκοινότητα, ενώ επηρεάζονται επίσης και από τη μείωση του αριθμού των ειδών ή taxa που είναι παρόντα στο υπό μελέτη οικοσύστημα. Έτσι, μια μείωση της τιμής του δείκτη αντικατοπτρίζει τη μείωση της βιοποικιλότητας του οικοσυστήματος. Οι δείκτες αυτοί είναι ποιοτικοί και δεν μπορούν να εκτιμήσουν ποσοτικές μεταβολές του οικοσυστήματος (Πιορουλίου *et al.* 2003)

Οι βιοτικοί δείκτες BMWP και ASPT κρίνονται ελλειπείς για την αξιολόγηση των σημείων δειγματοληψίας που μελετήθηκαν, πιθανώς επειδή δεν περιλαμβάνουν πολλές οικογένειες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η τάξη των Διπτέρων (Tabanidae, Ephyridridae, Limonidae, Anthomyidae, Stratiomyidae και Rhagionidae) σύμφωνα με τη Lazaridou (2004). Σε αντίθεση με την παρούσα εργασία, όπου έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Ο IBMWP περιλαμβάνει περισσότερες οικογένειες από τον BMWP αλλά και αυτός παρουσιάζει ελλείψεις σε σχέση με τις οικογένειες που απαντώνται στην Ελλάδα. Ο IASPT που προκύπτει από τον IBMWP είναι κατάλληλος για χρήση στα υπό μελέτη ενδιαιτήματα, καθώς είναι σε θέση να διορθώνει τις τιμές που λαμβάνονται από ύδατα στα οποία επικρατούν συγκεκριμένες συνθήκες, όπως όταν για παράδειγμα η σπανιότητα της πανίδας δεν είναι ένα αποτέλεσμα της ρύπανσης αλλά της μικρής παραγωγικής ικανότητας του οικοσυστήματος (Rico *et al.* 1992).

Ένα άλλο σημείο κριτικής που ασκείται στον βιοδείκτη BMWP είναι ότι η βαθμολογία εξαρτάται από τον αριθμό των taxa, ανάλογα με το μέγεθος του δείγματος, και τον τύπο της δειγματοληψίας. Για το λόγο αυτό η μέση βαθμολογία ανά ταξινομική βαθμίδα (ASPT), η οποία είναι ανεξάρτητη από τον αριθμό των taxa και επομένως λιγότερο ευαίσθητη σε σφάλματα δειγματοληψίας και την εποχικότητα, προτιμάται από κάποιους βιολόγους. Ο ASPT έδωσε καλύτερες βαθμολογίες σε όλα τα σημεία δειγματοληψίας για όλες τις εποχές στην παρούσα εργασία.

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει τις κοινότητες στο μακροβένηθος είναι οι σημειακές πηγές ρύπανσης από φορτία των γεωργικών απορροών, επηρεάζοντας τη σύνθεση της κοινότητας από ευαίσθητα σε ανθεκτικά τάξα. Σύμφωνα με τους Lekka *et al.* (2004), στην περίπτωση του ποταμού Καλαμά, τα καταγεγραμμένα μακροασπόνδυλα και η αφθονία τους αντανakλούν ανθρώπινες παρεμβάσεις. Σε αυτή την μελέτη, τα Πλεκόπτερα, τα οποία είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στη ρύπανση, εμφανίστηκαν σε μικρούς αριθμούς ατόμων σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας, συμφωνώντας με την παρούσα έρευνα όπου Πλεκόπτερα βρέθηκαν μόνο στους σταθμούς σε ψηλότερες θέσεις ενώ στην θέση Καστράκι που αποτελεί γεωργική περιοχή βρέθηκαν έντομα ανθεκτικά στη ρύπανση.

Οι ελλείψεις των ευρωπαϊκών βιοτικών δεικτών οφείλονται σε διάφορους παράγοντες (Λαζαρίδου *et al.* 2000): (α) είναι βασισμένοι σε συγκεκριμένες οικογένειες ενώ δεν λαμβάνουν υπόψη την πληθώρα των μακροασπονδύλων, (β) βασίζονται κυρίως στο βόρειο ευρωπαϊκό πρότυπο της κοινοτικής δομής, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά στις Ελληνικές υδρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες, (γ) οι δείκτες δημιουργήθηκαν επίσης για την αξιολόγηση της βιολογικής αντί ανόργανης ρύπανσης και έτσι είναι ακόμη λιγότερο πιθανό να αντανakλούν ρύπανση από μέταλλα στα υπό εξέταση συστήματα.

Στην παρούσα εργασία, σύμφωνα με τους οικολογικούς δείκτες την μεγαλύτερη ποικιλότητα εμφανίζουν σε όλους τους σταθμούς τα δείγματα κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Στο γεγονός αυτό πιθανώς να συνέβαλε η αυξημένη βλάστηση κατά την περίοδο αυτή, η οποία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τις βιοκοινότητες, καθώς παρέχει τροφή και ενδιαίτημα σε πολλά είδη (Hynes 1970).

Ωστόσο, οι δείκτες ποικιλότητας δεν μπορούν να αντικαταστήσουν τους βιοτικούς δείκτες κατά τη διάρκεια της εκτίμησης της ρύπανσης, προκειμένου να εκτιμηθεί ο βαθμός υποβάθμισης της ποιότητας του νερού. Συνεπώς, οι οικολογικοί και οι βιοτικοί δείκτες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά σε τέτοιου είδους μελέτες. Οι πρώτοι δείκτες για να εκτιμήσουν αλλαγές στη δομή της κοινωνίας και οι δεύτεροι δείκτες για την αξιολόγηση των αλλαγών στην ποιότητα του γλυκού νερού (Camargo 1991).

Σε κάθε περίπτωση απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη δεικτών που να μπορούν να εφαρμόστούν με αξιοπιστία για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού σε εσωτερικά ρέοντα ύδατα, οι οποίοι να είναι

προσαρμοσμένοι για τις ιδιαίτερες συνθήκες στα μεσογειακά οικοσυστήματα του γλυκού νερού.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Η εφαρμογή ευρωπαϊκών βιοδεικτών σε ελληνικά ποτάμια και ρέματα δεν είναι πάντοτε επιτυχής εξαιτίας των ιδιαίτερων υδρολογικών και κλιματικών συνθηκών της μεσογειακής λεκάνης και της χώρας μας ιδιαίτερα.
2. Παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των βιολογικών δεικτών όσον αφορά στην κατάταξη των υπό εξέταση υδάτων σε κλάσεις ποιότητας. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην διαφορετική προέλευση του κάθε δείκτη, και κατά συνέπεια στις διαφοροποιήσεις μεταξύ των βιοκοινοτήτων των βενθικών μακροασπονδύλων που απαντώνται στα ρέοντα υδάτινα οικοσυστήματα στις διαφορετικές χώρες.
3. Παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ως προς την ποιότητα των υδάτων μεταξύ των δύο ρεμάτων και των θέσεων δειγματοληψίας που μελετήθηκαν. Συγκεκριμένα, ο Βρύχωνας χαρακτηρίστηκε με ποιότητα από μέτρια έως πολύ καλή και για τις δυο θέσεις δειγματοληψίας. Αντίθετα ο Ενιπέας χαρακτηρίστηκε από μέτρια έως κακή ποιότητα νερού.
4. Εντοπίστηκαν διαφορές μεταξύ των δύο εποχών που μελετήθηκαν, που αποδόθηκαν στις εποχιακές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της παροχής νερού, οι οποίες έχουν άμεση επίδραση στη δομή και σύνθεση της βιοκοινότητας των βενθικών μακροασπονδύλων. Συγκεκριμένα, στο ποταμό βρύχωνα τον φθινόπωρο η ποιότητα του νερού φαίνεται να είναι ελαφρώς πιο υποβαθμισμένη σε σχέση με το καλοκαίρι. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στον Ενιπέα.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 Ελληνική βιβλιογραφία

Αναγνωστοπούλου Μ. (1992) The relationship between the macroinvertebrate community and water quality, and the applicability of biotic indices in the River Almopeos system (Greece). A thesis submitted to the University of Manchester for the degree of M. Sc. in ‘‘Pollution & Environment Control’’, in the Faculty of Sciences, School of Biological Sciences.

Γιαννάκου Ουρ. (2000) Εκτίμηση της επίδρασης της οργανικής ρύπανσης στην ποιότητα των ρεόντων υδάτων με τη χρήση βενθικών μακροασπόνδυλων οργανισμών, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Κτηνιατρικής, Εργαστήριο Οικολογίας και Προστασίας Περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη 2000.

Τσακίπης Γ. (2013) Υδατικοί πόροι: Τεχνική υδρολογία & Εισαγωγή στη διαχείριση υδατικών πόρων. Συμμετρία, Αθήνα, σελ. 626-658

6.2 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Tercedor J. (2006) Aquatic macroinvertebrates In: Biological Monitoring of Rivers: Applications and Perspectives. Wiley & Sons Ltd, West Sussex, UK, 71-87, 101-139.

Tercedor J., Ortega A. (1988) A simple and quick method to evaluate biological quality of running freshwater based on Hellawell, 1978. Limnetica 4:51-56.

Armitage P.D., Moss D., Wright J.F., Furse M.T. (1983) The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. Water Research, 17(3):333-347.

- Bartch A.F., Ingram W.M. (1966)** Biological analysis of water pollution in North America. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewadte Limnologie*, 16:786-800.
- Bray J.R., Curtis J.T. (1957)** An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27:325-349.
- Camargo J. A. (1991)** Temporal and spatial variations in dominance, diversity and biotic indices along a limestone stream receiving a trout farm effluent
- Chatzinikolaou Y., Dakos V., Lazaridou M. (2006)** Longitudinal impacts of anthropogenic pressures on benthic macroinvertebrate assemblages in a large transboundary Mediterranean river during the low flow period. *Acta*
- Chesters, R.K. (1980)** Biological monitoring working party. The 1978 national testing exercise. Department of the Environment, Water Data Unit, Technical Memorandum, 19.
- Couillard D., Lefebvre Y. (1985)** Analysis of water quality indices. *Journal of Environmental Management*, 21, 161-179.
- Cummins K.W. (1975)** Macroinvertebrates. In: *River Ecology*, Whitton, B.A. (Ed.). Blackwell, London, UK, 170-198.
- Cummins K.W., Minshall G.W., Sedell J.R., Cushing C.E., Petersen R.C. (1984)** Stream ecosystem theory. *Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewadte Limnologie*, 19:1818-1927.
- DePauw N., VanHooren G. (1983)** Method for biological quality assessment of watercourses in Belgium. *Hydrobiologia*, 100:153-168.
- DePauw N., Ghetti P.F., Manzini P., Spaggiari P. (1992)** Biological assessment methods for running water. In: *River Water Quality – Assessment and Control*,

Newman, P., Piavaux, A. & Sweeting, R. (Eds), EUR 14606 EN-FR, 1992-III. Commission of the European Communities: Brussels, Belgium, 217- 248.

Edwards R.W., Benson-Evans K., Learner M.A., Williams P., Williams R. (1972)

A biological survey of the River Taff. Journal of the institute of Water Pollution Control, 71:144-166.

Extence C.A., Bates A.J., Forbes W.J., Barham P.J. (1987) Biologically based water quality management. Environmental Pollution, 45: 221-236.

Field J.G., Clarke K.R., Warwick R.M. (1982) A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. Marine Ecology Progress Series, 8:37-52.

Ghetti, P.F., Ravera O. (1994) European perspective on biological monitoring. 46. In: Biological Monitoring of Aquatic Systems. Loeb, L. & Spacie, A. (Eds). Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA, 31-48.

Graça M., Pinto P., Cortes R., Coimbra N., Oliveira S., Gupta K., Verma S. C, Thakur M., Chauhan A. (2014) Impact of Land Uses on Surface Water Quality and Associated Aquatic Insects at Parwanoo Area of Solan District of Himachal Pradesh, India, International Journal of Bio-resource and Stress Management, 5(3):427-431

Hellawell J.M. (1986) Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Pollution Monitoring Series. Elsevier Applied Science, 214.

Hering D., Moog O., Sandin L., Verdonschot P., (2004) Overview and application of the AQEM assessment system. Hydrobiologia, 516:1-20.

Iliopoulou-Georgoudaki J., Kantzaris V., Katharios P., Kaspiris P., Georgiadis Th., Montesantou B. (2003) An application of different bioindicators for assessing water quality: a case study in the rivers Alfeios and Pineios (Peloponnisos, Greece). Ecological Indicators, 2:345-360.

- Johnson R.K., Wiederholm T., Rosenberg D.M. (1993)** Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations and species assemblages of benthic macroinvertebrates. Rosenberg, D.M., Resh V.H., Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman and Hall, New York, 40–158.
- Lekka E., Lazaridou-Dimitriadou M., Kagalou I., Albanisc T., Dakos V., Lambropoulou D., Sakkas V. (2004)** Assessment of the Water and Habitat Quality of a Mediterranean River (Kalamas, Epirus,., Hellas), in Accordance with the EU Water Framework Directive Acta hydrochim. hydrobiol. 175–188
- Liebmann H. (1962)** Handbuch der frischwasser und abwasser biologie. Vol 1, 2nd Ed, R. Oldenburg, Munchen, 588.
- Margalef R. (1957)** La teoria de information en ecologia. Memorias de la Real Academia de Ciencias Artes Barcelona, 32:373-449. Information theory in ecology. General Systems, 3:36-71.
- Metcalf J.L. (1989)** Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. Environmental Pollution
- Morais M., Carvalho M., Malo J. (2004)** Factors Affecting Macroinvertebrate Richness and Diversity in Portuguese Streams: a Two-Scale Analysis. Internat. Rev. Hydrobiol. 2:151–164
- Moss D., Furse M.T., Wright J.F., Armitage P.D. (1987)** The prediction of macroinvertebrate fauna of unpolluted running water sites in Great Britain using environmental data. Freshwater Biology, 17:41-52.
- Ormerod S.J., Edwards R.W. (1987)** The ordination and classification of macroinvertebrate assemblages in the catchment of river Wye in relation to environmental factors. Freshwater Biology, 17:532-546.

- Pielou E.C. (1969)** An introduction to mathematical ecology. Wiley, New York, 286.
- Richardson R.E. (1928)** The bottom fauna of the middle Illinois river 1913-1925: its distribution, abundance, variation and indexvalue in the study of stream pollution. Bull. Illinois State National History Survey, 17: 387-475.
- Rico E., Rallo A., Sevillano M.A. and Arretxe M.L. (1992)** Comparison of several biological indices based on river macroinvertebrate benthic community for assessment of running water quality. Annals of Limnology 28:147–156.
- Rosenberg D.M., Resh V.H., (1993)** Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates. Chapman & Hall, New York, USA, 488.
- Rumbos C., Kungolos A. (2013)** Evaluation of water quality of a mountainous stream (Pelion, Central Greece) using benthic macroinvertebrates. Fresenius Environmental Bulletin 23:2904-2908.
- Sanders H.L. (1968)** Marine benthic diversity: a comparative study. The American Naturalist, 102:243-282.
- Shannon C.E., Weaver W. (1949)** The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana and Chicago, 125.
- Sladeczek, V. (1973)** Systems of water quality from the biological point of view. Arch. Hydrobiol. Beih., 7:1-218.
- Sladeczek V. (1973)** The reality of three british biotic indices. Water Res., 7:995-1002.
- Thorp J.H., Covich, A.P. (1991)** Ecology and classification of North American freshwater invertebrates. Academic Press, Inc. Water, Air, and Soil Pollution 63: 343-359.
- Wright J.F., Moss D., Armitage P.D., Furse M.T. (1984)** A preliminary classification of running water sites in Great Britain based on macroinvertebrate

species and the prediction of community type using environmental data. *Freshwater Biology*, 14:221-256.

Ylla I., Sanpera-Calbet I., Va'zquez E., Romani'A., Muñoz I., Butturini A., Sabater S. (2010) Organic matter availability during pre- and post-drought periods in a Mediterranean stream *Hydrobiologia*

ABSTRACT

The EU Directive 2000/60 on water, it sets the framework action by all European Union Member States for the property manage of their water resources, to achieve "good" ecological quality of surface and groundwater until 2015 and prevent further deterioration in order to ensure the healthy functioning of aquatic ecosystems.

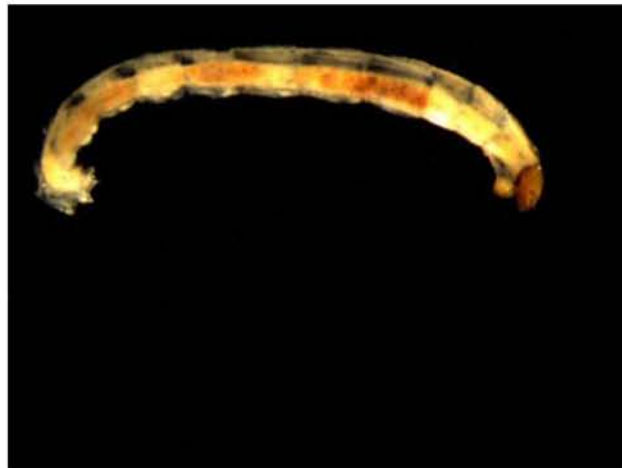
To assess the ecological water quality of rivers Vrychonas and Enipeas performed sampling and subsequent chemical, biological analyzes in four locations, selected with main feature the different altitude. Specifically, the collection of samples was performed in two seasons (Summer, Autumn) of the year 2014.

The assessment of water quality performed by the application of European and Greek biotic indices. Indicators differed even and for the same sampling locations and that indicating the particular characteristics of the Greek rivers advocate in the development of an assessment model, adapted to Greek conditions.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Diptera Tipulidae



Diptera Chironomidae



Diptera Athericidae



Diptera Chironomidae (pupa)



Diptera Limoniidae



Ephemeroptera Caenidae



Ephemeroptera Baetidae



Ephemeroptera Ephemeridae



Odonata Gomphidae



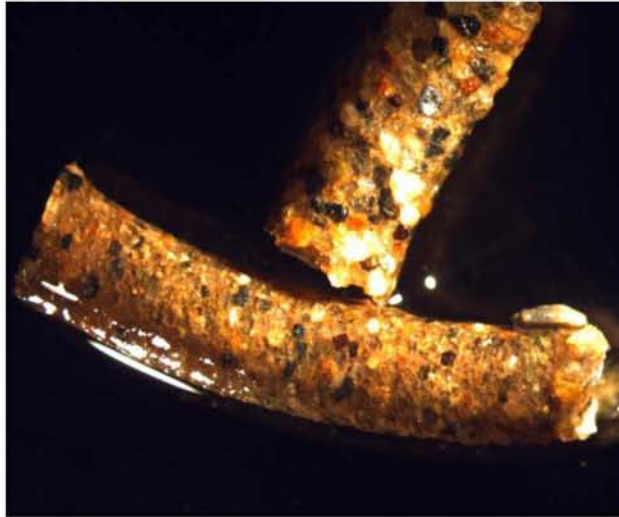
Odonata Aeshnidae



Odonata Calopterygidae



Hemiptera Gerridae



Trichoptera (θήκες)



Trichoptera Glossosomatidae



Trichoptera Phsycomiidae



Trichoptera Philopotamidae



Trichoptera Polycentropodidae



Plecoptera Leuctridae



Amphipoda Gammaridae



Hygrophila Lymnaeidae